



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

KOŠ NÁRAZNÍKU VAGONU

BUFFER BOX OF A WAGON

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Patrik Řezáč

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Milan Dvořák, CSc.

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Patrik Řezáč**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie a průmyslový management
Vedoucí práce: **doc. Ing. Milan Dvořák, CSc.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Koš nárazníku vagonu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh technologie výroby zadané součástky s názvem Koš nárazníku vagonu z firmy ŽĎAS, a.s.
Návrh tvářecího nástroje doloženého technologickými výpočty.

Cíle diplomové práce:

Návrh technologie výroby koše nárazníku vagonu objemovým tvářením za tepla. Možnosti a ekonomie výroby. Výkresová dokumentace výrobního nástroje podle zadané součástky nárazníku.

Seznam doporučené literatury:

BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. Technológia tvárnenia. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3242-0.

VOJTĚCH, Dalibor. Materiály a jejich mezní stavy. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2010. ISBN 978-8-7080-741-5.

HOSFORD, WILLIAM F. and Robert CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 4th ed. New York:Cambridge University Press, 2011. 331 s. ISBN 978-1-107-88-00452-8.

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření. Plošné a objemové tváření. 3.vyd.Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. 169 s. ISBN 978-80-214-4747-9.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Projekt diplomové práce se zabývá vypracováním návrhu technologického postupu výroby koše nárazníku vagonu objemovým tvářením za tepla. Matriálem pro výrobu je zvolena ocel S235JR (11375). Součástí práce jsou technologické výpočty, výkresová dokumentace výlisku, výkresy nástroje a také návrh na sestavu strojů pro výrobní linku. Kapacita linky byla vypočítána na 12460 kusů za rok. Součástí práce je také technicko-ekonomické zhodnocení výroby.

Klíčová slova

koš nárazníku vagonu, objemové tvářením za tepla, přechování, protlačování

ABSTRACT

The subject of this work is the proposal of a technological process to create a train car bumper using volume thermoforming. The S235JR (11375) steel has been chosen as the main material. The work contains technological calculations, blueprint documentation of the mold, of the tool and a proposal of the set of machines for the production line. The capacity of such production line has been calculated to be 12460 pieces per year. Economical-technological evaluation of the production is also included.

Key words

buffer box of a wagon, volume thermoforming, extrusion, die forming

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŘEZÁČ, Patrik. *Koš nárazníku vagonu*. Brno 2017. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 75 s. 11 příloh. Doc. Ing. Milan Dvořák, CSc..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Koš nárazníku vagonu** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Bc. Patrik Řezáč

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu doc. Ing. Milanu Dvořákovi, CSc. z VUT v Brně a panu Ing. Radku Zavadilovi ze společnosti ŽDAS a.s. za jejich cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

Děkuji také své rodině za podporu, v celém průběhu studia.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 POPIS ZADANÉ SOUČÁSTI.....	11
1.1 Popis funkce.....	12
1.2 Konstrukce nárazníku	12
2 TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ.....	16
2.1 Přetvoření materiálu.....	16
2.1.1 Zákony při tváření.....	16
2.1.2 Volba materiálu pro tváření	20
2.1.3 Deformace kovů.....	22
2.1.4 Teploty pro tváření.....	25
2.2 Specifikace technologie pro výrobu	27
2.3 Výběr technologie pro výrobu	28
2.3.1 Volné kování.....	28
2.3.2 Zápustkové kování	28
2.3.3 Superplastické tváření.....	29
2.3.4 Protlačování	30
2.3.5 Kombinované tváření.....	32
2.3.6 Vady výrobků při objemovém tváření za tepla.....	33
2.4 Technologická příprava výroby	34
2.4.1 Polotovary pro výrobu	34
2.4.2 Zjištění přetvoření, síly a práce.....	35
2.5 Stroje a nástroje pro kombinované tváření za tepla.....	37
2.5.1 Stroje a zařízení užívané při kombinovaném tváření za tepla	37
2.5.2 Konstrukce nástrojů používané při kombinovaném tváření za tepla.....	43
3 TECHNOLOGIE VÝROBY KOŠE NÁRAZNÍKU	47
3.1 Technologické výpočty.....	49
3.2 Návrh výrobních strojů	54
3.3 Návrh nástroje.....	57
3.4 Výrobní postup	58
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	60

FSI VUT	DIPLOMOVÁ PRÁCE	List	8
---------	-----------------	------	---

4.1 Spotřeba materiálu	60
4.2 Mzdové náklady.....	63
4.3 Předpokládaná spotřeba energií ve výrobě	63
4.4 Přímé variabilní náklady výroby.....	65
ZÁVĚR	67
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	68
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	72
SEZNAM PŘÍLOH.....	75

ÚVOD

Snaha člověka zformovat kov do tvaru, který by se dal k něčemu použít, sahá až do doby bronzové. Tehdy se podařily první metalurgické procesy, a byla vyprodukována použitelná slitina mědi a cínu, zvaná bronz. Tento objev znamenal pro lidstvo velký technologický pokrok, což se samozřejmě projevilo v oblasti výroby nástrojů, předmětů denní potřeby (obr. 1), šperků a v neposlední řadě i zbraní [1].



Obr. 1 Bronzová sekera [1].

Zhruba o 1500 let později lidstvo ovládlo technologii výroby železa (obr. 2). V průběhu doby, jak se rozvíjela metalurgie a s ní kvalita produkovaného kovu, rostli i technologické možnosti výroby různých výrobků [2].



Obr. 2 Halštatské sekery [2].

V současné době je k dispozici široké spektrum kovových i nekovových materiálů. Z hlediska jejich zpracování se nabízí také široká škála možností v oblasti tváření nebo obrábění. Mezi jednu z velice produktivních a hospodárných metod zpracování materiálů se počítá objemové tváření. K velkým přednostem těchto technologií patří vysoká míra využití materiálu. Objemovým tvářením lze při vhodně zvoleném postupu výroby a spolu s nastavením vhodných procesních podmínek nahradit obráběcí operace. U velké části výrobků je tak možné zkrátit výrobní čas a dosáhnout lepších pevnostních vlastností

hotového dílce. Součásti zhotovené těmito technologiemi splňují vysoké požadavky na kvalitu a produktivitu i v průmyslu zabývajícím se výrobou dílů pro dopravní techniku [3].



Obr. 3 Nárazník vagonu [4].

Tato práce se bude zabývat výrobou koše nárazníku vagonu (obr. 3) objemovým tvářením za tepla. První kapitola popisuje funkci zadané součásti. Na ni navazuje část, v níž jsou teoretické podklady nutné pro popis výrobního procesu, který je popsán v třetí kapitole. Dále je obsahem diplomové práce technicko-ekonomické zhodnocení výroby.

1 POPIS ZADANÉ SOUČÁSTI

Většina drážních vozidel na evropském kontinentu musí být vybavena vypruženým narážecím a táhlovým ústrojím, které slouží k bezpečnému propojení jednotlivých částí vlakové soupravy mezi sebou, obr. 4. Na Americkém kontinentu je z bezpečnostních důvodů uzákoněno použití spřáhla. Toto zařízení automaticky propojuje dvě drážní vozidla mezi sebou a posunovač nestojí mezi vozy. Ve světě se používají převážně dvě konstrukční varianty spřáhla, to které bylo zkonstruováno v Americe je tzv. Janneyho z roku 1873 a v Rusku se používá spřáhlo SA-3[5].



Obr. 4 Zařízení pro spojení vozů [5].

- | | |
|-----------------------|------------------------------|
| 1 - táhlový hák, | 6 - přechodový můstek, |
| 2 – šroubovka, | 7 - zajištění můstku, |
| 3 – nárazník, | 8 - kohout parního topení, |
| 4 - spojka napájecího | 9 - provozní zásuvka topné |
| potrubí brzdy, | spojky, |
| 5 - spojka hlavního | 10 - vidlice topné spojky ve |
| potrubí brzdy, | slepé zásuvce, |
| | 11 - vidlice kabelu UIC. |

1.1 Popis funkce

Táhlové ústrojí slouží k přenosu tahové síly a ke kompenzaci setrvačných sil hlavně při rozjezdu a částečně i při brždění. Hlavními částmi jsou: táhlový hák, šroubovka a vypružovací zařízení umístěné na podvozku drážního vozidla [5].

K částečné kompenzaci podélných rázů vznikajících při pohybu vozidla, při jízdě či posouvání, a k přenosu podélných tlakových sil při posouvání vozidla slouží nárazecí ústrojí. To je tvořeno základovou deskou, košem nárazníku, pouzdem nárazníku a podložkou talíře nárazníku s navařeným talířem, uvnitř nárazníku je pružící prvek. Podle nařízení komise (EU) č. 231/2013 ze dne 13. března 2013 musí mimo jiné nárazníky splňovat tato kritéria:

- nárazník musí splňovat požadavky normy EN 15551:2009 + A1:2010 vztahující se k nákladním vozům;
- středová osa nárazníku musí být umístěna ve výšce mezi 940 a 1 065 mm nad úrovní kolejnice za všech podmínek naložení a opotřebení;
- do vzdálenosti 40 mm od svislé roviny procházející konci plně stlačených nárazníků se nesmí nacházet žádné pevné součásti [6].

Pro vzájemné působení nárazníků a táhlového ústrojí nařízení dále uvádí:

- vlastnosti nárazníků a táhlového ústrojí musí být navrženy tak, aby umožnily bezpečné projíždění zatáček na koleji o poloměru 150 m. Dvě jednotky s podvozky spřažené na přímé koleji s dotýkajícími se nárazníky nesmí v zatáčce o poloměru 150 m vyvinout tlakové síly větší než 250 kN. Pro dvounápravové jednotky není specifikován žádný požadavek;
- vzdálenost mezi přední hranou otvoru táhlového háku a přední stranou zcela vysunutých nárazníků činí v novém stavu 355 mm +45/-20 mm [6].

Poslední požadavek zmíněného nařízení umožňuje vymezení minimálního manipulačního prostoru nutného pro připojení, případně odpojení kolejového vozidla. Takto je vymezen bezpečnostní prostor pro posunovače. Dále také platí, že mezi oběma nárazníky až do výšky dvou metrů nesmí být žádná jiná překážka (připojovací potrubí, hadice, kabely a jiné konstrukční prvky) [5].

Schopnost nárazníků absorbovat část dynamické energie je jejich důležitou charakteristikou. Druhá část přijaté energie, která nebyla pohlcena, zůstane naakumulována v pružícím prvku nárazníku a po odlehčení dochází k zpětnému vypružení a předání energie. Nárazníky jsou pravidelně kontrolovány statickými a dynamickými zkouškami, kde je ověřována schopnost nárazníku plnit svoji funkci [5].

1.2 Konstrukce nárazníku

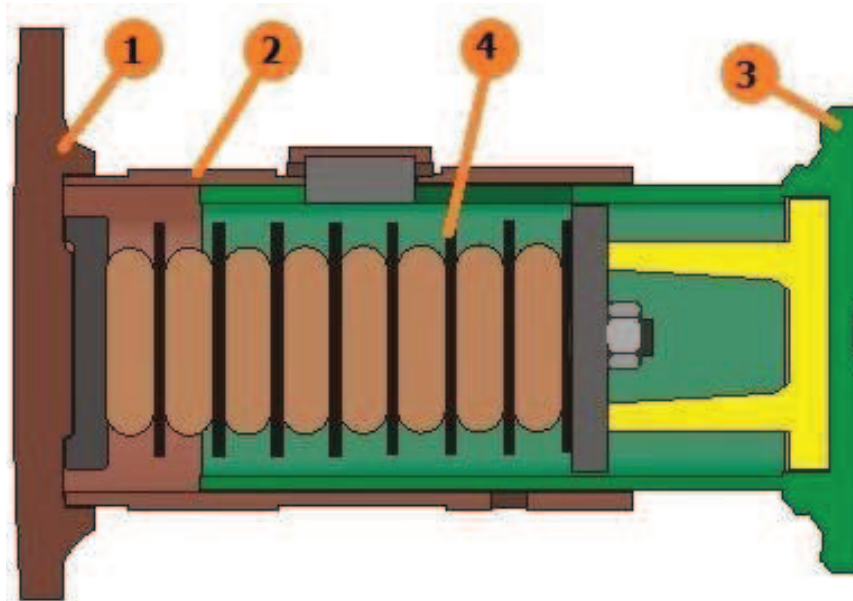
Jak již bylo výše uvedeno, samotný nárazník se skládá z koše, pouzdra, talíře nárazníku s navařenou podložkou nárazníku a uvnitř je pružící prvek [5].

Talíř nárazníku vagonu musí svými rozměry zabezpečovat kontakt s talířem nárazníku sousedního vozidla, které může být i jiné konstrukce a to i v nejméně příznivém úseku tratě (protisměrné oblouky). Minimální pracovní plocha je stanovena výpočtem podle vyhlášky UIC 527-1. Výpočtem je určena minimální šířka pracovní plochy s ohledem na parametry vozidla, nesmí přesahovat vnější obrys vozidla. Talíře musí být kulovitě vypuklé s poloměrem 2750 mm u nákladních vozů a 1500 mm u vozů osobních a u starších nákladních vozů. Při jejich výrobě je sledována drsnost a tvrdost funkčních ploch, protože při provozu zde dochází k velkému tření. Při zadírání protilehlých talířů nárazníku hrozí

zhoršení bezpečnosti vozu proti vykolejení, proto jsou tyto plochy pravidelně kontrolovány a mazány [5].

Pouzdro nárazníku tvoří s podložkou talíře a talířem nárazníku jeden celek mohou být spojeny pomocí šroubů, častěji jsou nýtované nebo svařované [5].

Pružicí prvek musí být do tělesa nárazníku instalován s předepsaným předpětím. Nejstarším doposud používaným pružícím prvkem je kuželová pásová pružina, dále se používají prstencové pružiny, které jsou schopné pohltit dvojnásobné množství energie v porovnání s pásovou pružinou. Jedná se o soustavu vnitřních a vnějších ocelových prstenců, stýkajících se svými kuželovými plochami. Zvýšit kapacitu nárazníků lze hydraulickými tlumiči nebo přidáním nekovových pružících prvků (pryžo-kovové nebo elastomerové). V každém případě tyto prvky musí zajistit progresivní způsob tlumení sil působící na nárazník - tuhost musí postupně růst se zatížením nárazníku. V některých případech jsou kolejová vozidla vybavena ještě přidavnými deformačními prvky, které mají za úkol chránit skříň vozidla před poškozením. K jejich zapracování dojde po vyčerpání kapacity nárazníků, nejčastěji při manipulaci s vozem. Dojde-li při tom ke zničení tohoto deformačního prvku, musí mít nárazník jasnou indikaci tohoto stavu [5].



Obr. 5 Řez nárazníkem vagonu [5].

- | | |
|-------------------------------------|---|
| 1 - talíř nárazníku
s podložkou, | 3 - koš nárazníku a
základová deska, |
| 2 - pouzdro nárazníku, | 4 - pružící prvek. |

Koš nárazníku a základová deska může tvořit jeden díl, obr. 5 pozice 3, pak se jedná o výlisek případně o odlitek nebo svařenec. Mohou být také ze dvou kusů spojených pomocí šroubů. U nárazníků s větší kapacitou tlumení rázů je koš zasouván do pouzdra. Naproti tomu u nárazníku s menší kapacitou dochází k zasunutí pouzdra do koše. V obou případech, musí být ve vnitřním prostoru sestavy nárazníku vytvořen dostatek prostoru pro pružící prvek [5].

Norma EN 15551:2009 + A1:2010 v kapitole 5 o nárazníku říká toto:

— na každém konci vozidla musí být připevněny dva nárazníky se stejným systémem vypružení, stejné kategorie, se stejným rozměrem talíře a typem tělesa nárazníku;

— koše nárazníku odlišující se pouze materiálem talíře nárazníku a zajišťovací vložkou se považují za identické [7].



Obr. 6 Umístění nárazníku s nekovovou vložkou nebo talířem (pohled na nákladní vozy shora) [5].

1 - nárazník s kovovým talířem,

2 - nárazník s nekovovou vložkou nebo talířem.

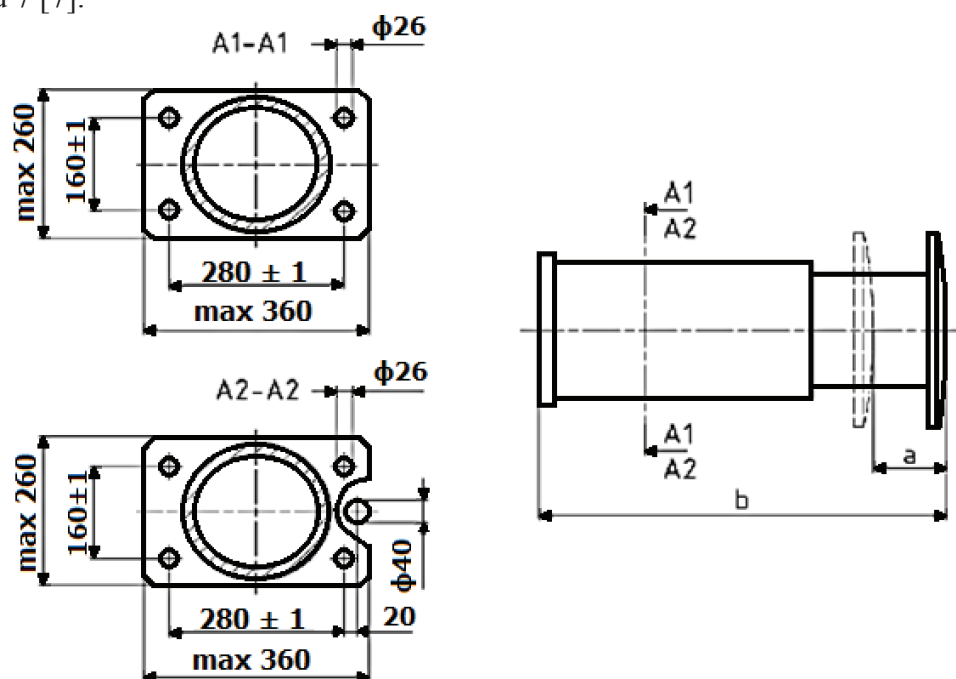
V poznámce se pak uvádí:

— pokud je použita nekovová vložka nebo je talíř osazen na jednom ze dvou nárazníků jednoho konce vozu, mají být nárazníky umístěny úhlopříčně podle obrázku 6 [7].

Dále je zde uvedeno [7]:

— nárazníky musí být připevněny na čelník vozu čtyřmi šrouby M24;

— pro nárazníky se zdvihem 105 mm a 150 mm použité u nákladních vozů jsou rozměry a prostor na čelníku pro přírubu pro vzájemnou za měnitelnost nárazníků uvedeny na obrázku 7 [7].



Obr. 7 Připevňovací rozměry nárazníků se zdvihem 105 a 150 mm pro zajištění vyměnitelnosti [7].

A1-A1 - nárazníky se zdvihem 105 mm,

A2-A2 - nárazníky se zdvihem 150 mm,

a - zdvih 105 mm nebo 150 mm,

b - délka nárazníku.

- příruba nárazníku se zdvihem 105 mm musí zakrývat místo pro čep (viz řez A1-A1 na obrázku 7). Tento čep zabraňuje umístění nárazníku se zdvihem 105 mm v případě, že je požadován nárazník s velkým zdvihem;
- příruba nárazníku se zdvihem 150 mm musí mít místo pro umístění čepu (viz řez A2-A2 na obrázku 7).
- pro vozidla, která musí splňovat požadavky na řízenou deformaci (lokomotivy, služební vozy nebo osobní vozy dle EN 15227, cisternové vozy podle RID), a které používají nárazníky s řízenou deformací nebo kombinované nárazníky sestávající ze speciálního nárazníku a deformačního prvku, není zaměnitelnost s nárazníky nákladních vozů požadována. Pro tato vozidla smí být použit odlišný způsob připevnění nárazníků (např. týkající se umístění koše, průměrů šroubů, počtu šroubů a jejich umístění), obrázek 7 pro ně neplatí [7].

2 TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ

Procesu tváření je možné vystavit různé kovové i nekovové materiály, jedná se o širokou škálu technologických procesů. V průběhu těchto dějů dochází k plastické deformaci základního materiálu za působení vnější síly. Neoddělitelnou součástí těchto pochodů je tření ovlivňující tok materiálu. Tváření lze rozdělit na objemové a plošné. Schopnosti materiálu plasticky se deformovat lze ověřit různými zkouškami [3,8].

a) Mechanické zkoušky (přímé, základní)

- např. tahové zkoušky, kterými se zjišťují základní materiálové charakteristiky jako mez kluzu R_e [MPa], smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa], mez pevnosti v tahu R_m [MPa], tažnost A [%], prodloužení (kontrakce) Z [%], exponent deformačního zpevnění n [-] atd. [8].

b) Technologické (nepřímé)

- kterými se napodobují určité stavy napjatosti skutečných dějů v ohnisku plastické deformace. Jedná se o zkoušky např.: kalíškovací, hydraulické, pěchovací, atd. Výsledky těchto zkoušek dávají podklady pro tvorbu obecných podkladů poskytujících informace o množství plastičnosti daného materiálu pro dané podmínky tváření [8].

Výstupem tvářecího procesu je hotový výrobek nebo polotovár vhodný pro další zpracování. Snahou je, aby výsledný produkt vykazoval lepší mechanicko-fyzikální vlastnosti. Z ekonomického hlediska je důležité, aby proces výroby byl co nejefektivnější. Je na místě snažit se o maximální účinnost a vysokou produktivitu výroby. Procesy tváření mají potenciál tyto podmínky splnit v čemž lze spatřovat jejich hlavní výhodu [3,8].

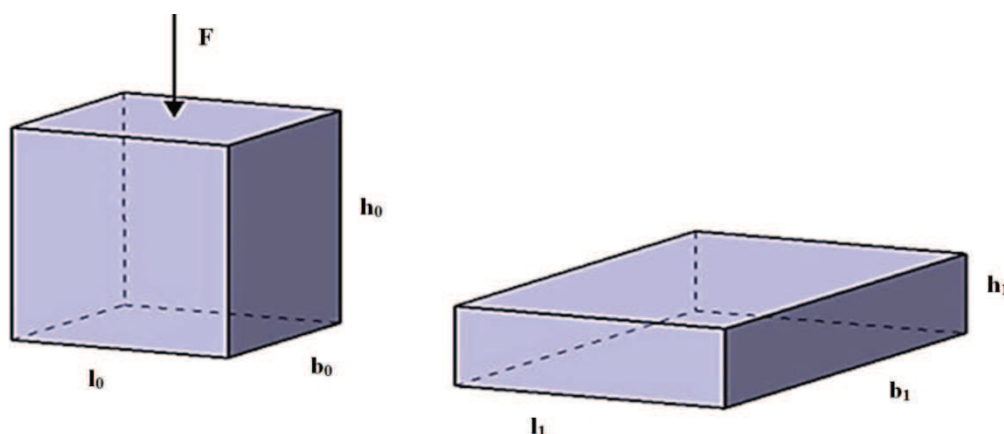
2.1 Přetvoření materiálu

Pro přemísťování částic materiálu (dosažení tvaru) je nutné respektovat jisté zákonitosti. Také tvářený materiál musí mít určité předpoklady pro dosažení lepších mechanicko-fyzikálních vlastností. Při přípravě technologického postupu je nutné brát v potaz možné vady výrobků a snažit se je eliminovat vytvořením vhodných výrobních podmínek [3].

2.1.1 Zákony při tváření

A/ Zákon stálosti objemu

Při plastické deformaci se objem nemění materiálu, dochází pouze ke změně tvaru [9], obr. 8.



Obr. 8 Zákon stálosti objemu [10].

F – působící síla [N],

l_0 – původní délka [mm], b_0 – původní šířka [mm], h_1 – přetvořená výška [mm],
 h_0 – původní výška [mm], l_1 – přetvořená délka [mm], b_1 – přetvořená šířka [mm].

Z obr. 8 vychází vztah (2.1) [11]:

$$V_0 = l_0 \cdot h_0 \cdot b_0 = l_1 \cdot h_1 \cdot b_1 \text{ [mm}^3\text{]} \quad (2.1)$$

V_0 – původní objem [mm³],
 V_1 – přetvořený objem [mm³],
 b_0 – původní šířka [mm],
 h_0 – původní výška [mm],
 l_0 – původní délka [mm],
 b_1 – přetvořená šířka [mm],
 h_1 – přetvořená výška [mm],
 l_1 – přetvořená délka [mm].

Úpravou rovnice (2.1) je získán vztah 2.2 [11]:

$$\frac{l_1}{l_0} \cdot \frac{h_1}{h_0} \cdot \frac{b_1}{b_0} = 1 \quad (2.2).$$

B/ Zákon podobnosti

Podmínky geometrické, mechanické a fyzikální podobnosti pro dvě různá tělesa jsou splněny, jestliže:

- pro geometrickou podobnost platí, že poměr jednotlivých stran tělesa je shodný a poměr průřezů se rovná poměru druhých mocnin jejich stran;
- mechanická podobnost nastává, jestliže poměr působících sil k druhým mocninám příslušných rozměrů je stejný spolu s rovností měrných tlaků. Udává také, že poměry objemů přetvářených těles jsou stejné jako poměry přetvárných prací. Dále, že koeficient na třecích plochách je stejný;
- fyzikální podobnost bude zabezpečena, jestliže bude zabezpečeno stejné chemické složení, struktura a fázový stav tvářených těles, dále pak stejné deformační rychlosti při stejných teplotách s podobně rozloženými napětími [9, 11, 12].

C/ Zákon stálosti potenciální energie změny tvaru

Nahromaděná potenciální deformační energie tělesa se rovná deformační práci sil na těleso působící. Její velikost je pro dané podmínky tváření (teplota, rychlost a stupeň deformace) konstantní hodnotou nezávislou na schématu napjatosti [9, 11, 12].

D/ Zákon tření

Na styčných plochách nástroje a tvářeného materiálu vzniká při deformačních pochodech aktivní nebo pasivní tření. Aktivní tření je to, s jehož pomocí jsou prováděny tvářecí operace, například válcování. Pasivní tření působí větší opotřebení nástrojů, zvyšuje spotřebu energie a brání rozvoji plastické deformace. Smykové napětí v místě kontaktu dvou povrchů je projevem odporu proti relativnímu pohybu stýkajících se těles, řídí se Coulombovým zákonem, vztah 2.3 [9, 11, 12]:

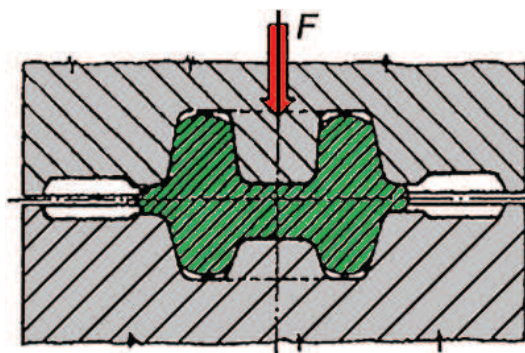
$$\tau = f \cdot \sigma_n \text{ [MPa]} \quad (2.3)$$

τ – smykové napětí [MPa],
 f – součinitel smykového napětí[-],
 σ_n – normálové napětí [MPa].

Dále je možné kluzné tření rozdělit na:

- suché tření kdy styčné plochy dvou těles nejsou mazány;
- mezní tření zde je omezena tvorba třecích svarů pomocí tenké vrstvy maziva (cca $1\mu\text{m}$), mazání je nedokonalé a může docházet ke kovovému styku povrchů;
- hydrodynamické tření platí zde hydrodynamické zákony a vrstva maziva dokonale oddělí plochy nástroje od tvářeného materiálu;
- smíšené tření, to je nejčastější druh tření při tvářecích operacích, jedná se o kombinaci tření hydrodynamického a mezního [9, 11, 12].

E/ Zákon nejmenšího odporu

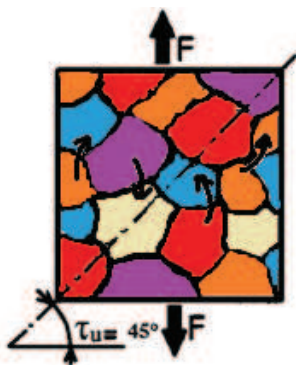


Obr. 9 Zaplňování dutiny zápustky[11].

Z principu minima vynaložené energie plyne, že elementy přetvářeného tělesa se přesunují ve směru nejmenšího odporu po co nejkratší dráze. Při pěchování hranolu dochází ke změně jeho tvaru na eliptický s patrnými hranami v jeho rozích. Pohyb uprostřed strany hranolu je nejdelší díky nejmenšímu odporu. Naproti tomu v rozích hranolu je větší tvarový odpor materiálu. Pro příklad je možné uvést zápustkové kování, kdy pro úplné vyplnění dutiny zápustky je vyvolán odpor tečení materiálu do výronkové drážky můstkem [9,12], obr. 9.

F/ Zákon maximálních smykových napětí a zákon zpevnění

K plastické deformaci tvářeného tělesa dojde, jestliže smykové napětí dosáhne kritické hodnoty, které je závislé na druhu materiálu a podmínkách plastické deformace. Kritické smykové napětí působí v rovinách nakloněných o 45° vůči hlavnímu směru působících sil vyvolávajících napětí [9] (obr. 10).



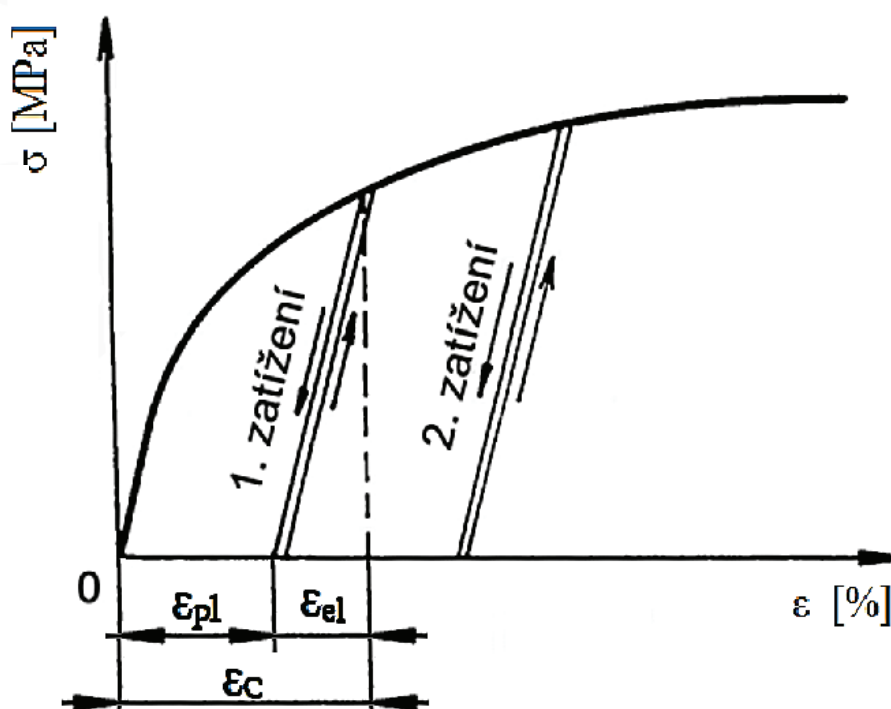
Obr. 10 Působení smykového napětí [12].

F – působící síla [N], B – zrna materiálu, τ_u – úhel smykového napětí $[\circ]$.

Při deformaci materiálu za studena dochází ke zpevnění materiálu vlivem deformačních převážně skluzových pochodů. Zpevnění je úměrné vlastnostem požitého materiálu a velikosti konečné deformace. Dalším faktorem je teplota při, které dochází k tváření, s rostoucí teplotou klesá zpevnění. Následně i rychlost přetvoření ovlivňuje proces deformace. Čím je vyšší rychlost tím více skluzových rovin je uvedeno do pohybu. Dochází ke zvýraznění meze kluzu a jejímu přiblížení mezi pevností[9, 11, 12].

G/ Zákon odpružení po trvalé změně tvaru

Koexistence elastické a plastické deformace při zatížení materiálu je příčinou toho, že deformované těleso po odeznění zatěžovací síly změní svůj tvar. Změna se řídí Hookovým zákonem, vztah (2.4), je tedy přímo úměrná velikosti elastické deformace. Elastická deformace má lineární průběh a projeví se i po opakovaném zatěžování nad mezi kluzu. Ta postupně roste [9], jak je patrné z obr. 11.



Obr. 11 Celková deformace [12].

σ – napětí [MPa],
 ε – poměrná deformace [-],

E – Youngův modul pružnosti [MPa],
 S – plocha zatěžovaného průřezu [mm²].

Hookův zákon (2.4):

$$\sigma = E \cdot \varepsilon = \frac{F}{S} \text{ [MPa]} \quad (2.4).$$

Celková poměrná deformace (2.5):

$$\varepsilon = \varepsilon_{el} + \varepsilon_{pl} = \frac{\sigma}{E} + \varepsilon_{pl} \text{ [-]} \quad (2.5)$$

ε_{el} – poměrné elastické přetvoření [-],
 ε_{pl} – poměrné plastické přetvoření [-],
 ε – poměrné přetvoření [-].

H/ Zákon přídavných napětí

Přídavná napětí vznikají vlivem tření a s ním spojeným vývinem tepla jako důsledek změny tvaru tvářeného tělesa. Také další faktory jako chemická nestejnorodost a nerovnoměrné mechanické vlastnosti tvářeného materiálu výrazně ovlivňují vznik těchto napětí. Ty následně snižují tvárnost a můžou vést až k porušení celistvosti materiálu vytvořením mikrotrhlin případně makrotrhlin. Vzniku vnitřních pnutí je možné částečně předejít například použitím vhodného maziva nebo speciálního nástroje (účinkem vibrací nebo ultrazvuku). Snižování jejich vlivu v hotovém výrobku je možné žíháním tvářeného materiálu [9, 11, 12].

2.1.2 Volba materiálu pro tváření

Pro tváření se nabízí široké spektrum vhodných materiálů. Z nekovových materiálů jsou to různé druhy reaktoplastů, termoplastů a elastomerů, které se čím dál častěji používají v technické praxi. Vzhledem ke svým specifickým vlastnostem a možnostem zpracování úspěšně nahrazují výrobky dříve vyráběné výlučně z kovu. Tyto materiály lze úspěšně lisovat, protlačovat, vyfukovat nebo válcovat. Termoplasty lze opakovaně tvářet za tepla, je třeba však počítat s mírnou degradací materiálu [11].

Také v oblasti kovových materiálů je celá řada druhů s vlastnostmi, které je předurčují pro tvářecí procesy. Nejdůležitějšími faktory ovlivňující schopnost materiálu snášet přetvoření jsou: chemické složení materiálu, pravidelná struktura s minimálním množstvím poruch v krystalové mřížce a pevnost v tahu. Této podmínce vyhovuje velké množství neželezných kovů a nízkouhlíkových ocelí. Je žádoucí, aby oceli měly feriticko-perlitickou strukturu s globulárním perlitem. Obecně lze tvrdit: čím je materiál chemicky a strukturálně různorodější tím nižší je jeho tvařitelnost. Pevnost v tahu by měla být na středních hodnotách (R_m - 300÷600 MPa). Tvárnost kovů lze také ovlivnit tepelným předzpracováním tvářeného polotovaru [13,16].

Chemické složení a strukturu krystalové mřížky materiálu lze ovlivnit již při výrobě hutních polotovarů. Je důležité dbát na správné složení vsázky do pece, čímž je eliminována přítomnost nežádoucích příměsí, případně je kov legován prvky, které zlepšují jeho vlastnosti. Tvárné vlastnosti ocelí ovlivňují tyto chemické prvky:

uhlík – má podstatný vliv na vlastnosti ocelí, je to austenitotvorný prvek, zvyšuje rozmezí tvářecích teplot a snižuje tvařitelnost materiálu. S rostoucím obsahem uhlíku stoupá pevnost, ale klesá plasticita a houževnatost. Do obsahu 2,11% v železe se tento materiál označuje jako kujné železo - ocel [14, 15];

mangan – je austenitotvorný prvek zvyšuje rozpustnost uhlíku v austenitu, prokalitelnost, pevnost a houževnatost, ale snižuje tažnost. Oceli s vyšším obsahem manganu jsou citlivé na zhrubnutí zrna, takže je nutné při tepelném zpracování dodržovat austenitizační teplotu a počítat s jeho malou difúzní rychlostí. V koncentraci 0,3%÷1% působí příznivě na vyloučení síry do podoby sulfidů, tím snižuje jejich nepříznivé působení na houževnatost a tranzitní teplotu [14, 15];

křemík - používá se jako dezoxidační prvek, je silně feritotvorný, zvyšuje mez kluzu a pevnost. Při obsahu nad 1% snižuje plastické vlastnosti [14, 15];

měď – při obsahu vyšším jak 0,2 % způsobuje trhliny za horka, ale také zvyšuje prokalitelnost a ochranu proti atmosférické korozi [14, 15];

nikl – stabilizuje perlit, při vyšším obsahu zvyšuje náchylnost oceli k přehřátí, mírně zvyšuje prokalitelnost a pevnost. Jedná se o poměrně drahý kov [14, 15];

chrom – je to austenitotvorný a karbidotvorný prvek, který snižuje rekrytalizační schopnost oceli, ale zvyšuje prokalitelnost. Je to také nezbytný legující prvek v korozivzdorných ocelích [14, 15];

síra – značně zhoršuje kovatelnost a způsobuje tzv. lámavost oceli, oslabuje soudržnost austenitických zrn [14, 15];

fosfor – způsobuje popouštěcí křehkost, zhoršuje vrubovou houževnatost, zvyšuje sklon ke vzniku trhlin, a tedy zhoršuje tvařitelnost [14, 15];

kyslík – nepříznivě ovlivňuje vrubovou houževnatost, způsobuje křehkost a tvrdost (oxidické vměstky) [14, 15];

dusík – je příčinou křehnutí ocelí a vzniku nitridů [14, 15].

Po odlití kov tuhne, vznikají první náhodně orientované dendrity a okolo nich se formují zrna materiálu, které krystalizují do bloků, tzv. subzrn. Do výroby mohou být zařazeny také některé prvky sekundární metalurgie, jako je vakuování, oxidace, homogenizace a podob., pro dosažení žádané kvality materiálu. I přes to je možné se u ocelových ingotů setkat s těmito nežádoucími vadami: staženiny, řediny, vycezeniny, vměstky, trhliny, zavaleniny, šupiny a podobně. Tyto defekty mohou být příčinou vad ve výrobcích [12].

U kovových materiálů lze definovat tyto plastické vlastnosti:

a) Deformační schopnost

– schopnost tělesa změnit svůj tvar a rozměry vlivem působení vnějších sil [3].

b) Plasticita

– deformační schopnost materiálu v průběhu homogenní deformace [3].

c) Tvařitelnost

– deformační schopnost materiálu v průběhu celého deformačního děje [3].

d) Technologická tvařitelnost

– schopnost materiálu měnit tvar a rozměry spolu se schopností podrobit se určitému technologickému procesu, na jehož konci je vyrobená součást bez defektu [3].

e) Tvrdost

– odolnost materiálu proti vnikání cizího tělesa do jeho povrchu [3].

f) Houževnatost

– odolnost proti křehkému lomu, je přímo závislá na plastických vlastnostech materiálu [3].

Vhodným materiálem pro výrobu koše nárazníku je ocel označená dle EN 10027–1 jako S235JR (11375), materiálový list oceli je přílohou č.1. Jedná se o neušlechtilou konstrukční ocel obvyklé jakosti. Vhodnou pro součásti namáhané staticky i dynamicky, kované nebo svařované, mající uplatnění v širokém spektru využití ve strojírenství, mimo jiné také pro spojky a podvozky vagónů [17].

Přehled vlastností oceli S235JR

Tabulka 1: Chemické složení oceli [17].

C (max.) hmot. [%]	Mn (max.) hmot. [%]	P (max.) hmot. [%]	S (max.) hmot. [%]	N (max.) hmot. [%]	CEV (max.) hmot. [%]	Fe (min) hmot. [%]
0,23	1,5	0,045	0,045	0,014	0,4	97,766

Tabulka 2: Mechanické vlastnosti oceli [17].

Mez pevnosti v tahu [MPa]	Mez kluzu [MPa]	Tažnost [%]	Nárazová práce [J]
340 ÷ 490	185	21	0,4

Technologické vlastnosti

Svařitelnost

– vhodná ke svařování všemi obvykle používanými způsoby svařování. S rostoucí tloušťkou výrobku a rostoucí hodnotou uhlíkového ekvivalentu se zvyšuje riziko výskytu trhlin za studena v oblasti svaru. Je účelné dbát doporučení stanovující podmínky pro svařování, jak je např. uvádí ECSC IC 2 (EN 1011) [17].

Tváření za tepla

– jsou-li dodávané výrobky dále tvářeny za tepla, splňují uvedené mechanické vlastnosti pouze po následném normalizačním žíhání [17].

Tvařitelnost za studena

– ocel určená pro tváření za studena musí být označena písmenem C (S235JRC). To se týká i tažení za studena [17].

2.1.3 Deformace kovů

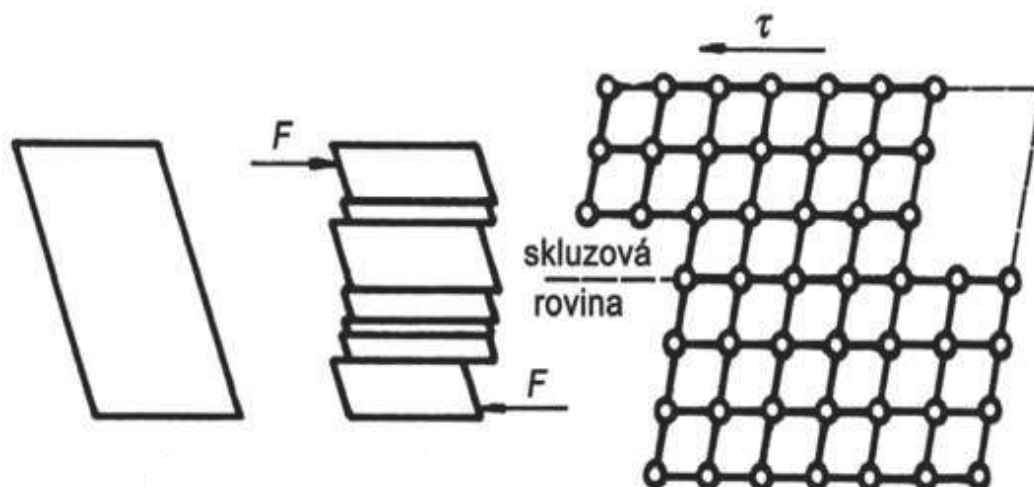
Deformace kovu nastává díky působení vnějších sil. Je-li materiál zatěžován malými silami, dochází pouze k elastické deformaci, která po odtížení zaniká. Při zatížení polotovaru nad mez kluzu, dochází k prvním plastickým deformacím. Těleso po odeznění těchto sil a elastické deformace získá nový tvar. Při tvářecích procesech nesmí dojít k takovému zatížení materiálu, aby došlo k porušení jeho celistvosti. K plastické deformaci se dochází pomocí těchto základních mechanismů [11, 12].

A/ Plast. deformace difuzí

– dochází k ní za vysokých teplot při malé deformační rychlosti materiálu s větší koncentrací vakancí a intersticiálních atomů. Vlivem vnějších napětí zde dochází k přemísťování atomů na místo s energeticky výhodnějšími podmínkami [11, 12].

B/ Plast. deformace skluzem, (obr.10)

– v počátečním stádiu se deformace šíří postupným translačním pohybem jednotlivých vrstev krystalu. Velikost posunu je dána násobkem nejmenší mřížkové vzdálenosti a jeho směr je v rovině nejhustěji obsazené atomy. Zpevnění materiálu je malé. V další fázi procesu se do deformačních pochodů zapojí další skluzové systémy a dochází k jejich natáčení, přičemž dojde k většímu zpevnění materiálu [11, 12].

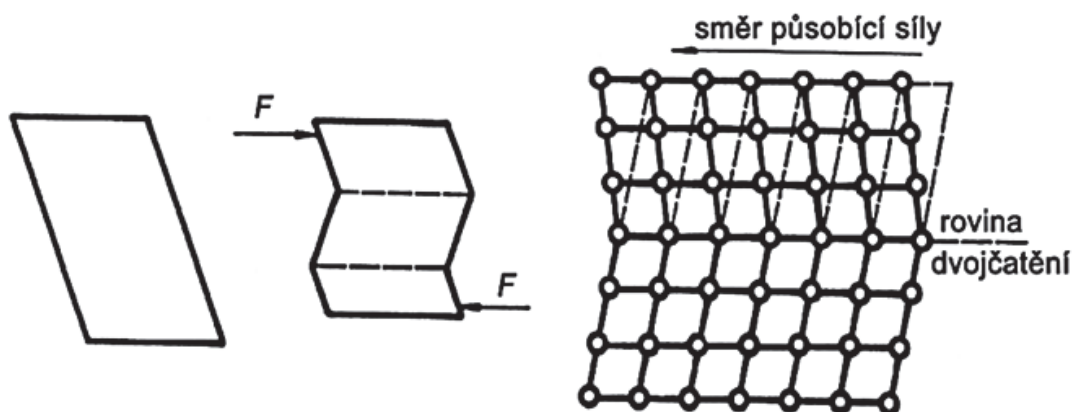


Obr. 12 Plastická deformace skluzem [11].

F – síla, τ – smykové napětí.

C/ Plast. deformace dvojčatěním, (obr.11)

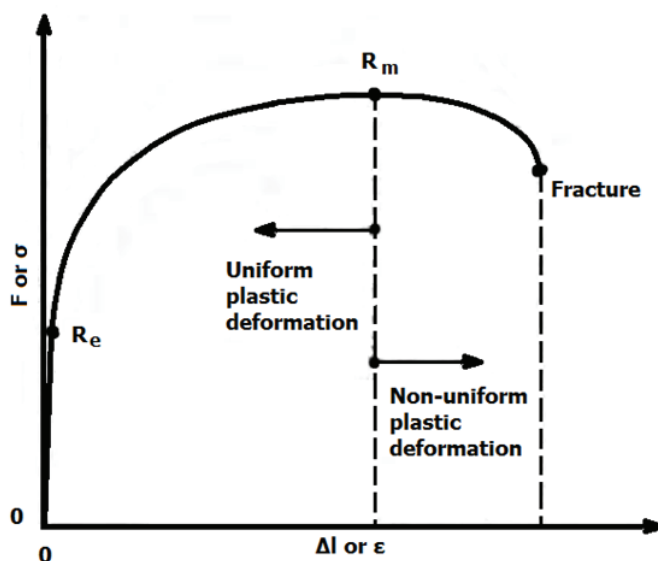
- vzniká vytvořením zrcadlového obrazu nedeformované části krystalu kolem roviny dvojčatění s následným velkým zpevněním materiálu. Deformace způsobená tímto mechanismem tedy nemůže být velká [11, 12].



Obr. 13 Plastická deformace dvojčatěním [11].

F – síla.

Základní informace o chování materiálu v elastické a elasto-plastické oblasti deformace podává tahová zkouška. Výsledkem je křivka v tahovém diagramu názorně popisující chování materiálu. Zjednodušeně ji lze znázornit jako na obr. 14, kde je vyobrazena závislost síly (F) a prodloužení (Δl), pak lze hovořit o pracovním diagramu. Nebo jako závislost napětí (σ) na relativním prodloužení (ϵ), což je označováno názvem smluvní diagram. Testovaný materiál je zatěžován rostoucí silou, v první fázi dochází pouze k elastické deformaci, ta končí v bodě R_e (mez kluzu). Její průběh je lineární, platí zde Hookův zákon a po odtížení deformace mizí. Křivka mezi body R_e a R_m (mez pevnost) reprezentuje oblast homogenních plastických deformací, zde se odehrávají procesy tváření.



Obr. 14 Graf tahové zkouška tvárného kovu [18].

F – síla [N]

Δl - absolutní změna délky [mm]

σ – napětí [MPa],

ϵ – poměrná deformace [-].

Zpracovávaný materiál by měl mít nevýraznou mez kluzu a co možná největší oblast homogenních plastických deformací. Po dosažení meze pevnosti pak dochází k prvním trhlinám uvnitř materiálu a na povrchu ke zúžení profilu. V bodě „Fracture“ následuje přetržení zkoušeného vzorku. Křivka průběhu tahové zkoušky je podkladem pro výpočet tažnosti vztah (2.6) [18]:

$$A = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100 [\%] \quad (2.6)$$

A – tažnost [%],

l_0 – původní délka [mm],

l_1 – přetvořená délka [mm].

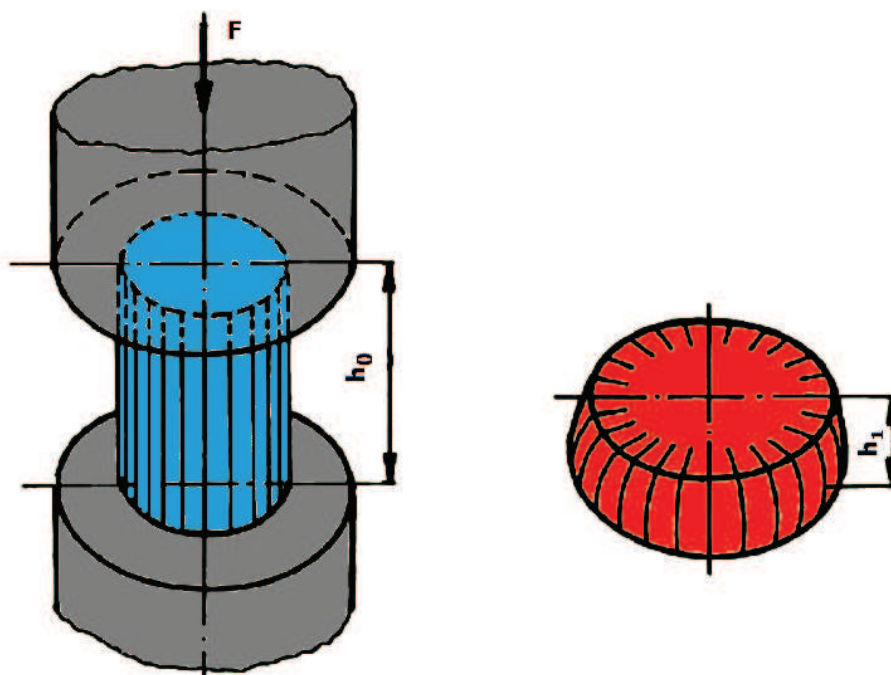
Změna velikosti průřezu zkušebního tělíska je základem pro výpočet kontrakce (2.7) [18]:

$$Z = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \cdot 100 [\%] \quad (2.7)$$

Z – kontrakce [%],

S_0 – původní plocha průřezu [mm²],

S_1 – přetvořená plocha průřezu [mm²].



Obr. 15: Zkouška tlakem [19].

F – síla [N],

h_0 – původní výška [mm],

h_1 – přetvořená výška [mm].

Opakem tahové zkoušky je tlaková zkouška důležitá pro zjištění objemové tvařitelnosti. Jejím cílem je zjištění důležitých deformačních charakteristik materiálů, jako je přirozený přetvárný odpor, technologický přetvárný odpor, pěchovatelnost nebo kovatelnost. Při této zkoušce se zkušební vzorek zatíží tlakovou rovnoměrně rostoucí silou, obr. 15, dokud se na něm neobjeví první trhliny nebo nedojde k celkovému porušení. Graf závislosti napětí na stlačení je podobný grafu tahovému, jen napětí a deformace mají obrácený smysl. Zkušební vzorky jsou válcovité s doporučeným poměrem výšky k průměru 1,5÷1,6. Síla

působící na zkušební vzorek způsobuje redukci výšky a růst průměru. Třecí síly mezi čely kovádel a čely vzorku znemožňují částicím kovu pohyb v radiálním směru. Tyto elementy kovu následně působí na částičky, které nejsou v přímém styku s čelem kovádra, tak, aby vytvořili v materiálu kužely elementů kovu, které nejsou radiálně posunuty. Ostatní částice kovu jsou vytlačovány a způsobují soudečkové zaoblení stěn. Tvárné materiály se deformují do tvaru soudečku, křehké a tvrdé materiály při zkoušce rovnou praskají. Tlakové zkoušky končí ve chvíli vzniku prvních trhlin, lze je provádět za tepla i za studena [20].

Pro velikost a rychlost přetvoření jsou definovány tyto pojmy:

- a) Rychlost přetvoření - změna velikosti přetvoření za jednotku času.
- b) Oblast přetvoření - jedná se o tu část polotovaru, kde v daném okamžiku probíhá změna tvaru. Velikost této změny může být v různých částech různá.
- c) Ohnisko přetvoření - místo s největší intenzitou změny tvaru.
- d) Přetvoření - velikost změny tvaru dosažená tvářením. Mezní stupeň přetvoření se určí podle místa kde je očekáváno porušení materiálu, to je v místě s nejméně příznivými podmínkami. Lze jej spočítat jako absolutní změnu rozměru délky při tahu (2.8) nebo výšky při tlaku[3]:

$$\Delta l = l_0 - l_1 \text{ [mm]} \quad (2.8)$$

Δl – absolutní změna délky [mm],

l_0 – původní délka [mm],

l_1 – přetvořená délka [mm].

Změna průřezu při namáhání tahem se stanoví ze vztahu (2.9) [3]:

$$\Delta S = S_0 - S_1 \text{ [mm}^2\text{]} \quad (2.9)$$

ΔS – absolutní změna průřezu [mm²],

S_0 – původní průřez [mm²],

S_1 – přetvořená průřez [mm²].

Poměrné přetvoření rozměru při prodloužení se vypočítá (2.10) [3]:

$$\varepsilon = \frac{l_0 - l_1}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} [-] \quad (2.10)$$

ε – poměrná změna rozměru [-].

Poměrné přetvoření průřezu při namáhání tahem se vypočítá (2.11) [3]:

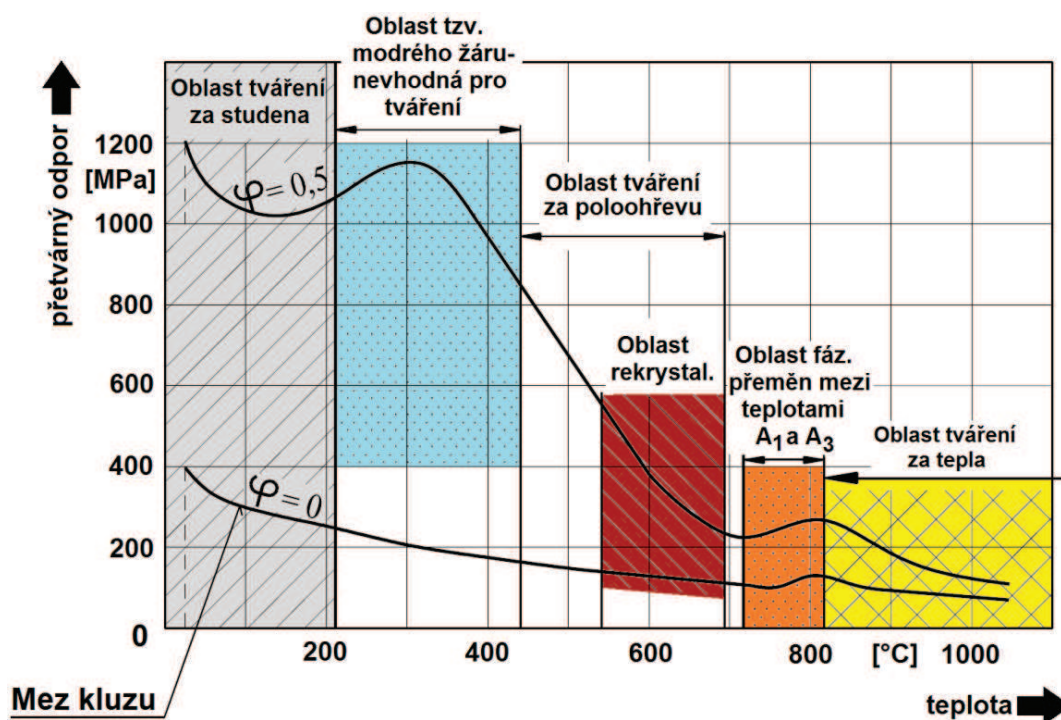
$$\varepsilon = \frac{S_0 - S_1}{S_0} = \frac{\Delta S}{S_0} [-] \quad (2.11).$$

V materiálu také definujeme deformační odpor, jedná se o odpor materiálu proti přetvárné síle. Dále pak lze definovat technologický přetvárný odpor, který je dán vlastnostmi materiálu a procesními podmínkami tvářecího procesu. Vztahuje se na průřez výtvarku, který je kolmý k tvářené síle [3].

2.1.4 Teploty pro tvářen

Významným faktorem pro ovlivnění struktury a vlastností materiálů v procesu tvářen je tvářecí teplota. S rostoucí teplotou procesu rostou výrobní náklady, někdy je však nutné

snížit přetvárný odpor materiálu, aby bylo dosaženo potřebného výsledku. Podle teploty je možné tváření rozdělit, jak znázorňuje obr. 16, na [11, 12, 21] :



Obr. 16: Vliv teploty na přetvárný odpor slitinové chromové oceli [12].

φ – přetvárný odpor [-].

A/ Tváření za studena

Tváření za studena je perspektivní způsob výroby strojních součástí, teplota při něm nepřekročí 30% teploty tavení. Je to vysokoproduktivní metoda dobře využitelná ve velkosériové a hromadné výrobě. Dochází při ní k vyčerpání plastičnosti materiálu, výhodou je, že materiál výrobku má lepší mechanické vlastnosti. Nevýhodou je, že může dojít k vyčerpání plastičnosti v průběhu procesu a je nutné materiál následně tepelně zpracovat a navrátit mu tak schopnost dalšího přetvoření. Během plastické deformace se náhodná orientace zrn mění, zrna se prodlužují ve směru působící síly, a vzniká textura. Ta zvyšuje anizotropii mechanických vlastností materiálu [11, 21].

Po tváření za studena je stav zrn nestabilní. Je-li, kov vystaven vyšším teplotám dochází v něm ke snižování deformační energie zvyšováním pohyblivosti atomů. Mohou v zásadě nastat dva děje: zotavení (tj. zánik mřížkových deformací a napětí) a rekrytalizace (vznik nových zrn). Oba pochody jsou závislé na teplotě a na stupni tváření [12].

B/ Tváření za poloohřevu

V případě, že je nutné snížit přetvárný odpor materiálu, tepelně aktivovat pohyb dislokací a snížit jejich hustotu anihilací, je nutné tvářet za poloohřevu. Například: u nízko uhlíkových ocelí se při teplotě 200 °C zvýší tažnost o 20%÷30%. Teploty se pohybují v rozmezí 30%÷50% teploty tavení, při tomto ději dochází k deformačnímu zpevnění materiálu a tím ke zlepšení jeho mechanických vlastností. Také přesnost a jakost povrchu jsou na dobré úrovni. Nutnost ohřát materiál však vede k prodražení výroby (provoz pece, provoz manipulátoru a podob.) [12].

C/ Tváření za tepla

Tváření za tepla probíhá za teplot vyšších než je teplota rekrytalizace. Současně probíhá primární rekrytalizace, opakované obnovování tvaru zrna umožňuje prakticky neomezené přetvoření. Pro uhlíkové oceli je rozmezí tvářecích teplot od 900÷1300 °C, což je nad křivkou přeměny A₃, po překrytalizaci v oblasti austenitu, obr 16.

Teplota ovlivňuje plastické vlastnosti materiálu a to tak, že s růstem teploty, většinou klesá deformační odpor materiálu. U ocelí se tvárnost zmenšuje pouze v oblasti její křehkosti za modrého žáru a v oblasti fázových přeměn. V tabulce 3 jsou uvedené kovací teploty ocelí [12, 22].

Tabulka 3: Kovací teploty ocelí [22].

Druh oceli	Rozmezí kovacích teplot
uhlíková ocel do 0,2% C	1280 ÷ 800 °C
uhlíková ocel do 0,4% C	1250 ÷ 800 °C
uhlíková ocel do 0,6% C	1190 ÷ 800 °C
uhlíková ocel do 1% C	1100 ÷ 800 °C
uhlíková ocel nad 1,2% C	1050 ÷ 800 °C
slitinová chromová nebo chromniklová ocel	1250 až 850 °C
rychlořezná ocel	1200 až 900 °C
ocel s vysokým obsahem chromu (14% Cr)	1110 až 750 °C
nerezavějící ocel 18/8	1150 až 900 °C
manganová ocel (12% Mn)	950 až 850 °C

Horní tvářecí teplotu je nutné dodržet, při jejím překročení dojde ke spálení oceli. Natavují se hranice austenitických zrn, rozpouští se síra a fosfor. Po ochlazení jsou na hranicích zrn sirníky a fosidy, následkem je zkřehnutí materiálu, které nelze odstranit. Rychlost ohřevu a ochlazování má také vliv na strukturu tvářeného materiálu, čím jsou vyšší tím jemnozrnější strukturu materiálu má výsledný výrobek. Dlouhá doba ohřevu může vést k přehřátí oceli, materiál je pak nutno difuzně vyžítat případně více prokovat. I způsob ohřevu má vliv na ohřívání materiál. Například u ocelí může dojít k oxidaci – okujení a oduhličování. [12].

2.2 Specifikace technologie pro výrobu

Tato práce se bude zabývat výrobou koše nárazníku. Výsledným produktem má být dle zadání výlisek zhotovený pomocí objemového tváření za tepla. Pro přípravu polotovaru bude nutné do ní zahrnout dělení materiálu a to spadá do oblasti třískového obrábění.

Definice objemového tváření za tepla:

Objemové tváření za tepla (OTT) je technologický proces zpracování materiálu, při kterém deformace nastává ve směru všech tří os souřadného systému. Deformační odpor je snížen zvýšenou teplotou tvářeného materiálu. Materiál výrobku má jemnozrnou strukturu bez zpevnění. Dochází ke vzniku vláknité struktury kopírující tvar výkovku [3,12].

Výhody tváření za tepla:

- malé přetvárné odpory za vysokých teplot tváření, které se s rostoucím stupněm přetvoření nemění;
- obnova a dynamické odpevnění vláknité struktury;
- potřeba menších tvářecích sil a tím i menší přetvárné práce;
- menší silové namáhání stroje;
- odstranění trhlin, bublin – homogenizace materiálu [12].

Nevýhody tváření za tepla:

- a) velká spotřeba energie na ohřev, vyšší investiční náklady;
- b) značné tepelné namáhání nástroje a stroje;
- c) menší tvarová a rozměrová přesnost (větší přídávky);
- d) horší kvalita oduhličeného a okujeného povrchu;
- e) menší využití materiálu;
- f) vláknitá struktura výkovku s rozdílnými mechanickými vlastnostmi podél a napříč [12].

2.3 Výběr technologie pro výrobu

Objemové tváření za tepla, má bohatou historii, obzvláště pak ruční kování zná lidstvo několik tisíců let. Výrobek má požadovaný tvar, příznivou makrostrukturu, výhodnou mikrostrukturu a lepší mechanické a fyzikální vlastnosti [10].

2.3.1 Volné kování

Volným kovááním rozumíme OTT prováděné úderem nebo klidně působící silou. Může se jednat o ruční kování, kdy kovář tváří nahřátý materiál pomocí kladiva a kovadliny. Případně o strojní kování na bucharu nebo lisu. Materiál se ohřívá na jeho maximální možnou teplotu ohřevu, aby se co nejvíce využilo snížení deformačního odporu. Mezi základní operace volného kování patří: prodlužování, pěchování, kování na trnu, osazování, přesazování, děrování a ohýbání [8, 11].



Obr. 17 Volné kování – prodlužování [23].

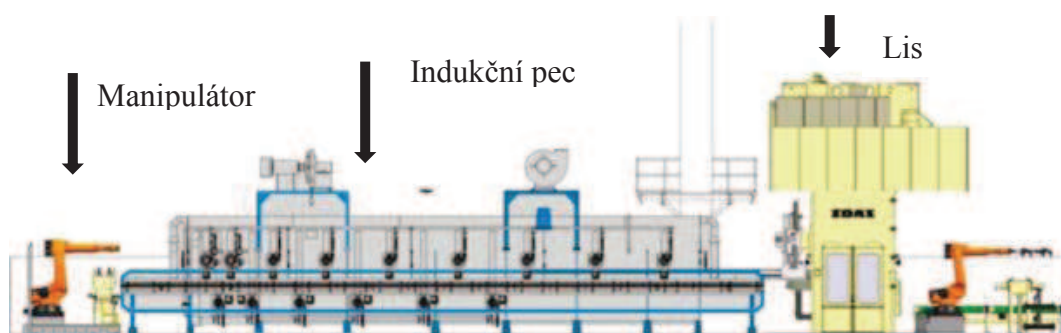
Rozměrová přesnost výkovků je malá, v případě že, je výkovek dále obráběn, je nutné počítat s většími přídávky. Automatizace výrobního procesu je zde velice obtížná a nehodí se proto pro sériovou výrobu. Jeho předností je možnost rychle změnit výrobní program a umožňuje vyrábět široké spektrum výrobků. Tato technologie je hojně využívána v oblasti kusové výroby a opravárenství [8].

2.3.2 Zápustkové kování

Při zápustkovém kování získává kovaný materiál výsledný tvar vyplněním dutiny zápustky. Dolní část zápustky je upnuta ve stolu bucharu nebo lisu a horní je uchycena k pohyblivému se beranu. Materiál je vložen do dolní části zápustky, tlakem horní zápustky je deformován do výsledného tvaru. Proces může probíhat v otevřené zápustce, s výronkovou drážkou nebo v uzavřené zápustce bez této drážky. Na výkovky v otevřené zápustce se spotřebuje více materiálu a je nutná další operace – odstřižení výronku. Uzavřená zápustka se zase rychleji opotřebí, neboť musí snášet vyšší tlaky, ale výkovek je

přesnější a vyroben do finální podoby. Složitější tvary vyráběné zápusťkovým kovááním se vyrábějí v postupových zápusťkách. Polotovár je zde postupně upravován v předkovacích dutinách zápusťky. Dokončovací dutina je umístěna v ose beranu, protože se předpokládá potřeba největší síly vzhledem k teplotě předkovku a jeho největší ploše. Zápusťky pro buchar jsou z jednoho kusu, horní zápusťka bývá členitější (lépe se zaplňuje) a mají uzavřenou výronkovou drážku. U zápusťek pro lis se používá otevřená výronková drážka, zápusťky mohou být vložkováné. Operace zápusťkového kováání lze dělit např.: na rozdělávání, předkování, kováání a odstřižení výronku [8].

Zápusťkovým kovááním se dosahuje vysokého stupně prokování a průběh vláken sleduje obrys výkovku. Přesnost výkovků je mnohem vyšší než u výkovků volného kováání, přesto je nutné počítat s přídavky na obrábění díky technologickým přídávám: zaoblení hran, úkosy stěn, nevykované otvory, blány v otvorech a podob. [12].

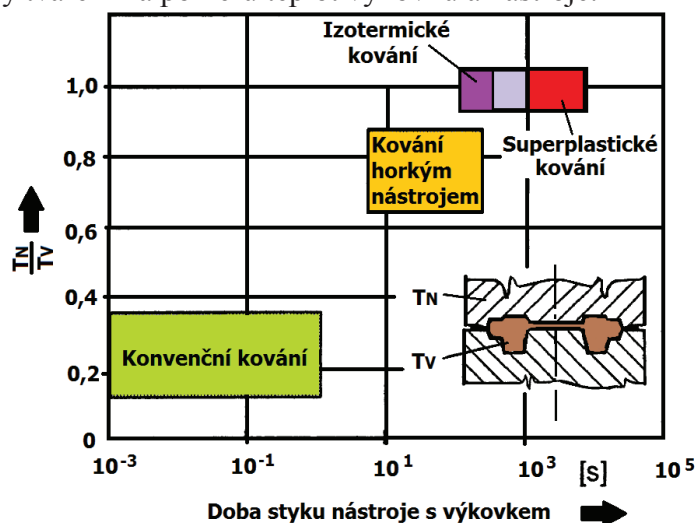


Obr. 18 Linka s lisem CYAA [24].

Jedná se vysoce produktivní metody tváření, které lze je snadno automatizovat, obr. 18, při samotné výrobě pak lidská síla stojí pouze na začátku a na konci výrobního procesu. Pro výrobu součásti s hlubokou dutinou však vhodná není. Výroba by se skládala s mnoha operací, velký počet zápusťek, což by ji prodražilo [3, 8, 25].

2.3.3 Superplastické tváření

Podmínky pro izotermické tváření jsou znázorněny na obrázku 19. Který je představuje jako závislost doby tváření na poměru teplot výkovku a nástroje.



Obr. 19 Teplotní a časové podmínky kováání [26].

T_N – teplota nástroje[°C],

T_V – teplota výkovku[°C].

Při konvenčním způsobu zápustkového kování je materiál ochlazován zápustkou (ta bývá ohřata na teplotu $100 \div 200$ °C). Zabránit ochlazování materiálu a tím lokálnímu růstu jeho tvářecího odporu a nehomogenitě materiálového toku lze ohřátím zápustky na kovací teplotu tvářeného polotovaru. Vytvoření stabilních teplotních podmínek umožňuje také tvářet obtížně tvařitelné materiály za nízkých deformačních rychlostí. Díky zvýšení plasticity kovu lze dosáhnout vyšší přesnosti výlisku a snížit tvářecí síly. Deformovaná struktura materiálu je homogenní a reprodukovatelná u všech výkovků. Objemové superplastické tváření, lze rozdělit na [26]:

A/ Kování horkým nástrojem

- jedná se o kompromis mezi konvenčním a superplastickým kovááním. Nástroj je ohřátý na teplotu o cca $100 \div 200$ °C nižší než je teplota kování materiálu, tvářecí rychlost je naopak vyšší. Materiál zápustky je tedy méně tepelně namáhán [26].

B/ Izotermické kování

- teplota nástroje a teplota materiálu je stejná, rychlost je jako u kování horkým nástrojem [26].

C/ Superplastické kování

- teplota nástroje se rovná teplotě tvářeného materiálu s delším tvářecím časem [26].

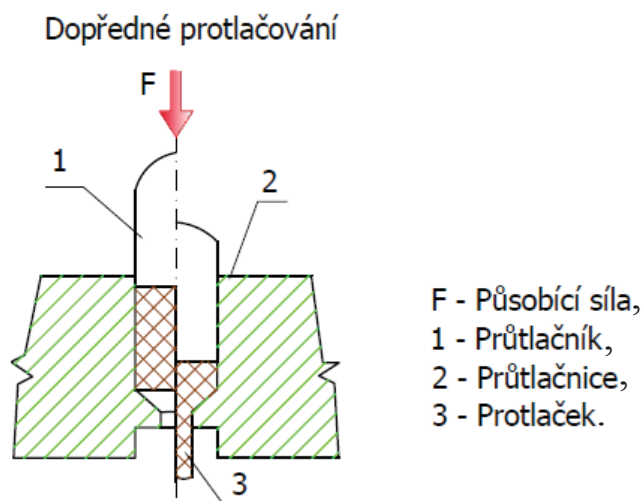
Možnosti automatizace a mechanizace jsou prakticky totožné jako při zápustkovém kováání. Předností je možnost tvářet nepoddajné materiály a vysoká přesnost výroby. Nutnosti udržovat vysokou teplotu nástrojů a delší výrobní časy vedou k vyšším výrobním nákladům a nižší produktivitě [25, 26].

2.3.4 Protlačování

Během protlačování je dosahováno změny tvaru materiálu za působení značné prostorové napjatosti. Vytvoření podmínek pro rozsáhlé plastické deformace je umocněno zvýšením plasticity díky ohřevu materiálu. Lze je rozdělit na tyto základní skupiny [8, 12, 27]:

A/ Dopředné protlačování, (obr.20)

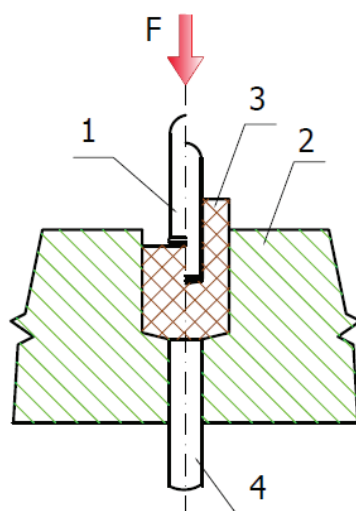
– materiál se pohybuje ve směru pohybu tlačníku otvorem průtlačnice. Jelikož je tlačník vedený v průtlačnici může být jeho délka větší než u zpětného protlačování. Polotovarem jsou špalík, kalíšek, trubka či prstenec, ze kterých vznikají součásti plné i duté, s přírubou či bez příruby [8, 12].



Obr. 20 Dopředné protlačování [12].

B/ Zpětné protlačování, (obr. 21)

– materiál teče proti směru pohybu tlačníku a to prstencem mezi tlačníkem a průtlačnicí. Směry hlavních souřadnicových os pak, nejsou shodné se směry hlavních deformací a proces přetvoření je tak nerovnoměrný. Vyrábí se tak nádoby, pouzdra a součásti ve tvaru kalíšků ze špalíků (kalot) čtvercového případně kruhového průřezu. Usměrněné protlačování se nazývá takové kdy se v průběhu procesu protlaček uzavře v průtlačnici a volné protlačování je takové kdy je boční povrch výrobku volný [8, 12, 27].

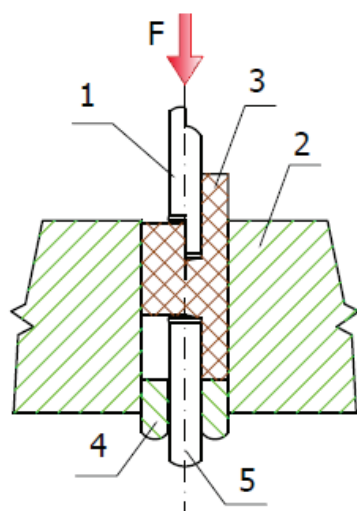
Zpětné protlačování

F - Působící síla,
1 - Průtlačník,
2 - Průtlačnice,
3 - Protlaček,
4 - Vyhazovač.

Obr. 21 Zpětné protlačování [12].

C/ Sdružené protlačování (obr. 22)

– materiál teče jak ve směru i proti směru pohybu tlačníku, jedná se tedy o kombinaci zpětného a dopředného protlačování. Tímto postupem je možno vyrobit součást i velmi složitého tvaru na jednu tvářecí operaci. U té části materiálu formující se dopředným protlačováním je vhodné zvolit menší deformaci [8, 27].

Sdružené protlačování

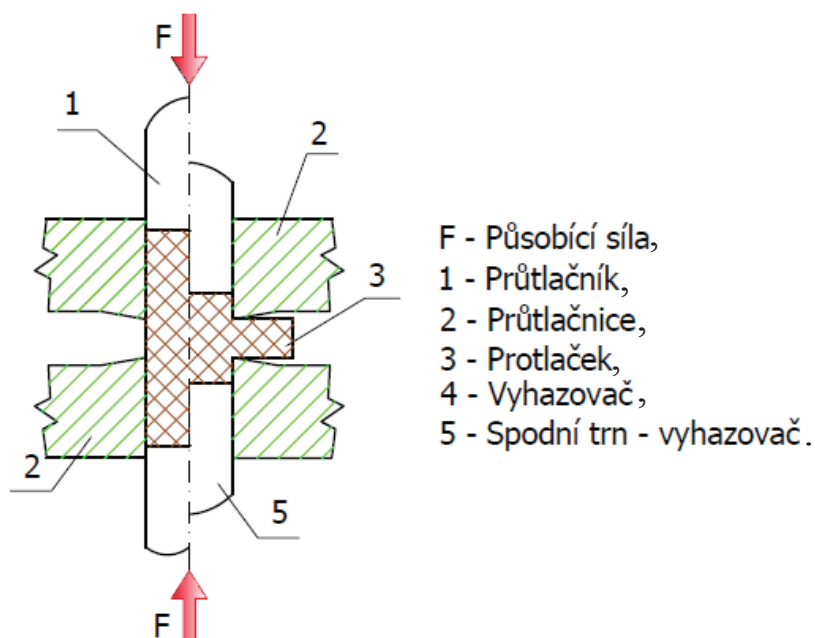
F - Působící síla,
1 - Průtlačník,
2 - Průtlačnice,
3 - Protlaček,
4 - Pouzdro trnu,
5 - Spodní trn - vyhazovač.

Obr. 22 Sdružené protlačování [12].

D/ Radiální protlačování (obr. 23)

– při něm se materiál přemísťuje v kolmém směru k podélné ose polotovaru. Vyrábí se tak výstupky na obvodu určité části vylisku nebo se mění tvar průřezu vylisku [8].

Stranové protlačování



Obr. 20 Radiální protlačování [12].

U protlačků je nutné dbát těchto tvarových omezení [26]:

- není vhodné nesymetrické nahromadění materiálu a výroba součástí s velkými úhly kuželů, kvůli rozložení síly při tváření;
- náhlé přechody tloušťky stěny, místní zúžení stěny, ostré hrany a rohy, nejsou vhodné z hlediska toku materiálu;
- otvory, závity a ozubení, je vhodné vyrábět až v poslední výrobní operaci;
- u zpětného protlačování má být poměr celkové výšky protlačku k jeho průměru maximálně 2,5 a síla dna větší než síla stěny.

Tyto výrobní postupy lze snadno automatizovat a mechanizovat, jsou tedy vhodné i pro hromadnou výrobu [3, 8, 23].

2.3.5 Kombinované tváření

Dalším způsobem výroby dílců tvářením za tepla je kombinace různých druhů technologických postupů. V jedné operaci lze použít protlačování (dopředné, zpětné nebo radiální), pěchování a podob. Takto lze vyrobit součástky i velmi složitých tvarů na jeden zdvih beranu [28].

Zadaná součást má tvar dutého válce s přírubou a je symetrická. Z výše uvedeného textu plyne, že pro její výrobu bude vhodné zvolit kombinované tváření. Pro vytvoření dutého válce, protlačování zpětné a pro výrobu příruby bude použito pěchování. Vzhledem k tomu, že se jedná o polotovar, který se následně bude obrábět, lze je ho tvar zjednodušit. Lisováním tedy nebudou před-vyrobeny otvory v základové desce, podélné otvory ve stěně koše nárazníku vagonu a ostré přechody budou zaobleny [3, 8].

2.3.6 Vady výrobků při objemovém tváření za tepla

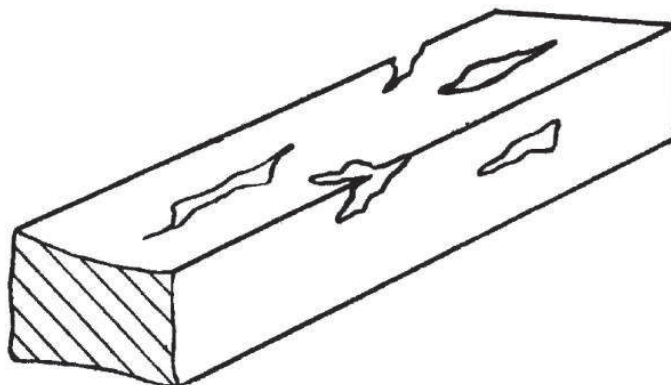
Na vyrobeném dílu se mohou projevit vady přenesené z výchozího materiálu, vady způsobené dělením materiálu, vady vznikající díky procesním nedostatkům případně díky technologické nekázni [16].

Vlasové trhliny

– způsobují je plyny, nemetalické inkluze a nečistoty v materiálu, vyskytují se jak na povrchu, tak uvnitř materiálu výkovku [16].

Trhliny, obr. 24

– vznikají následkem špatných procesních podmínek při ohřevu polotovaru, kováním při nízkých teplotách nebo u obtížně kovatelých materiálů [16].



Obr. 24 Trhliny[16].

Zakované okuje

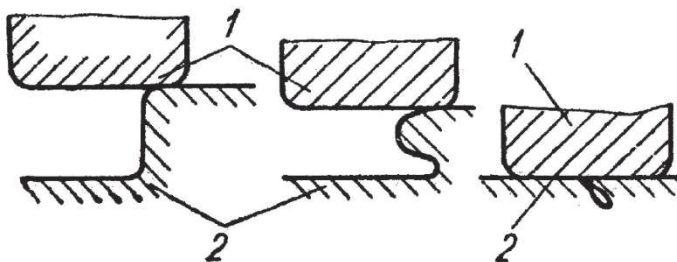
– na vznik okují má vliv způsob ohřevu, okuje minimalizujeme použitím pece se sálavým teplem (indukční pece) případně ochrannou atmosférou v peci. Vzniklé okuje z polotovaru lze odstranit v odokujovacích zařízeních případně procesními podmínkami (použitím bucharu místo lisu) [16].

Šupiny

– jedná o odstříknutou ocel přilepenou k povrchu ingotu, která se v průběhu kování ztenčuje. Vznikají také při nerovnoměrném kování za nízkých teplot, kdy může dojít ke ztrátě tvárnosti vrchní vrstvy kovu a k jejímu následnému utržení [16].

Kovářská přeložka, obr. 25

– při nesprávně zvoleném tvaru předkovku může vzniknout kovářská přeložka. Jedná se o strukturální vadu výkovku, která vede k přerušení průběhu vláken v materiálu. Snižuje mechanické vlastnosti výrobku [16].

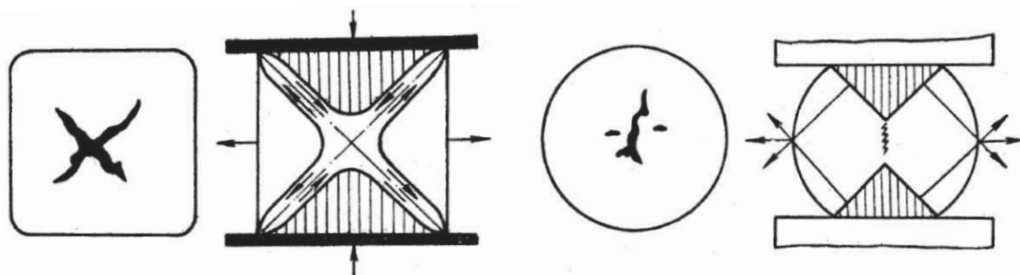


Obr. 25 Vznik kovářské přeložky[16].

1 - kovádko; 2 – kovaný materiál.

Vnitřní dutiny, obr. 26

– vznikají při velkém napětí v materiálu následkem velkých deformací a při nízkých kováčích teplotách ve střední části výkovku [16].



Obr. 26 Schéma vzniku vnitřní dutiny při kování plochými kovádky u polotovaru čtvercového a kruhového průřezu [16].

Nedokovaný výkovek

– vlivem nedostatečného nebo nadbytečného materiálu, případně nízké teploty nebo nevhodné polohy polotovaru v záпустce hrozí vznik této vady [16].

Otlučení

– jedná se o mechanické vady na výkovku spojené s jeho manipulací během tváření [16].

Přesazení, prohnutí a otřepy na výkovku

– jsou typické vady způsobené procesními nedostatky, lze je odstranit seřízením nástroje nebo stroje, případně vložením další pracovní operace [16].

Některým vadám lze předejít kontrolou materiálu při jeho příjmu. Kontroly jsou zaměřeny na geometrické rozměry a mechanické vlastnosti polotovarů. V průběhu výroby se na polotovaru kontrolují jeho rozměry případně hmotnost, rychlost a teplota ohřevu případně i ochlazování. Výstupní kontrola se zajímá o geometrii výrobku – rozměry, kolmost, souosost a podobně a také o vady v materiálu. Povrchové vady se mohou zjišťovat vizuální nebo penetrační metodou, vady vnitřní pak ultrazvukem či rentgenem [16, 28].

2.4 Technologická příprava výroby

Pro tvar polotovaru platí, že by měl být co možná nejpodobnější hotovému výrobku. U výrobků ve tvaru válcových pouzder to mohou být přířezy z kruhové tyče, pro výrobky složitějších tvarů se jako polotovary používají předkovky.

2.4.1 Polotovar pro výrobu

Při volbě polotovaru je nutné dodržet zákon stálosti objemu. Jeho objem musí být navýšen o nezbytné ztráty vzniklé při výrobě, u OTT je to objem propalu materiálu případně výronku a blány výkovku. Do celkové spotřeby materiálu je nutné započítat také prořez při dělení materiálu a nevyužitý zbytek z tyče. Pro objem polotovaru tedy platí rovnice 2.12 [30]:

$$V_p = V_f + V_{op} \text{ [mm}^3\text{]} \quad (2.12)$$

V_p – objem polotovaru [mm³],

V_{op} – objem propalu materiálu [mm³],

V_f – tvářený objem [mm³].

Objem propalu materiálu se vypočítá jako určitá část z objemu výkovku, 2.13 [30]:

$$V_{op} = 0,03 \cdot V_f [mm^3] \quad (2.13)$$

V_{op} – objem propalu materiálu [mm^3],

V_f – tvářený objem [mm^3].

Při pēchovacích operacích je nutné zachovat pēchovací poměr, aby nedošlo ke zborcení polotovaru a následnému vytvoření kovářské přeložky, 2.14 [3]:

$$\frac{l_p}{d_p} \leq 2,3 \div 2,5 [-] \quad (2.14)$$

l_p – délka polotovaru [mm],

d_p – průměr polotovaru [mm].

Délka polotovaru vychází z jeho objemu. Počet přířezů z tyče se vypočítá podle 2.15 [29]:

$$n_p = \frac{l_t}{l_p + l_{pr}} [ks] \quad (2.15)$$

n_p – počet přířezů [ks],

l_p – délka polotovaru [mm],

l_{pr} – délka prořezu [mm],

l_t – délka tyče [mm].

Spotřeba materiálu na jeden výrobek je dána jeho hmotností a vypočítá se podle vztahu 2.16, který zohledňuje také odpad vzniklý při výrobě. Ten může být použit při jiné výrobě nebo jako druhotná surovina [30]:

$$m_{cv} = m_p + m_{pr} + m_z [kg] \quad (2.16)$$

m_{cv} – celková hmotnost materiálu na jeden výrobek [kg],

m_p – hmotnost polotovaru [kg],

m_{pr} – hmotnost prořezu [kg],

m_z – hmotnost ze zbytku tyče na jeden výrobek [kg].

2.4.2 Zjištění přetvoření, síly a práce

Pro úspěšné zvládnutí výrobního procesu je nutné znát také skutečné přetvoření, velikost tvářecí síly a velikost vykonané práce [3, 8, 10, 11].

Je-li při výrobě použito kombinovaného tváření je nutné rozměry polotovaru volit tak, aby logaritmické přetvoření, z jednotlivých tvářecích operací nepřesáhla určitou mez. Pro pēchování platí vztah 2.17, s maximální hodnotou pro oceli $0,9 \div 1,2$ [3]:

$$\varphi_{pc} = \ln \frac{S_1}{S_0} [-] \quad (2.17)$$

S_0 – původní plocha průřezu [mm^2],

S_1 – přetvořená plocha průřezu [mm^2],

φ_{pc} – logaritmické přetvoření při pēchování [-].

Logaritmické přetvoření pro zpětné protlačování se vypočítá ze vztahu 2.18, s maximální hodnotou 1,4 [3]:

$$\varphi_{pr} = \ln \frac{S_0}{S_1} [-] \quad (2.18)$$

S_0 – původní plocha průřezu [mm^2],

S_1 – přetvořená plocha průřezu [mm^2],

φ_{pr} – logaritmické přetvoření [-].

Přetvárný odpor klesá se vzrůstající teplotou materiálu, viz tabulka 4 [21]:

Tabulka 4: Pokles přetvárného odporu materiálu v závislosti na teplotě [21].

Pevnost oceli R_m [MPa]	Přetvárný odpor oceli za dané teploty [MPa]						
400	95	66	45	30	22	18	14
600	150	111	75	54	36	22	20
800	250	155	115	75	51	36	24
1000	330	230	159	109	68	50	30
Tvářecí teplota: [°C]	700	800	900	1000	1100	1200	1300

Hodnota přetvárného odporu pro pěchování podle Siebla se určí ze vztahu 2.19 [3]:

$$\sigma_d = \sigma_p \cdot \left(1 + \frac{\mu \cdot d_f}{3 \cdot h_f} \right) [MPa] \quad (2.19)$$

d_f – průměr na konci tváření [mm],

μ – součinitel tření ($f=0,35 \div 0,5$),

h_f – výška základové desky [mm],

σ_d – přetvárný odpor pro tváření za dané teploty [MPa],

σ_p – tvářecí odpor za kovací teploty [MPa].

Jeho hodnota pro zpětné protlačování je daná vztahem 2.20, také podle Siebla [28]:

$$\sigma_d = 1,152 \cdot \sigma_p \cdot \frac{S_e}{S_u} \cdot \left(\log \frac{S_e}{S_e - S_u} + \frac{S_e}{S_e - S_u} \cdot \log \frac{S_e}{S_u} + \log \frac{S_u}{S_e - S_u} \right) [MPa] \quad (2.20)$$

S_e – plocha průřezu průtláčnice [mm^2],

S_u – plocha průřezu tlačníku [mm^2].

Přetvárnou sílu vypočítáme ze vztahu 2.21, jedná se o výpočet síly podle Rebelského [3]:

$$F = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot d_f) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{d_f} \right) \cdot \sigma_d \cdot S_f [N] \quad (2.21)$$

F – síla [N],

S_f – půdorysná plocha výrobku [mm^2],

d_f – průměr na konci tváření [mm].

Přetvárnou práci lze přibližně určit z monogramů, nebo ji vypočítat podle vztahu 2.22, podle objemu materiálu, jeho skutečného přetvoření a střední hodnoty přetvoření [3]:

$$W = \sigma_{ps} \cdot V_f \cdot \varphi [J] \quad (2.22)$$

W – práce [J],

V_f – tvářený objem [mm³],

σ_{ps} – střední přetvárný odpor [MPa],

φ – skutečné přetvoření [-].

Kde střední přetvárný odpor je určen vztahem 2.23 [3]:

$$\sigma_{ps} = \frac{1}{\varphi} \int_0^{\varphi} \sigma_d d\varphi [MPa] \quad (2.23)$$

σ_d – přetvárný odpor pro tváření za dané teploty [MPa],

σ_{ps} – střední přetvárný odpor [MPa].

2.5 Stroje a nástroje pro kombinované tváření za tepla

Při kombinovaném tváření za tepla se používá široká škála strojů a různého zařízení. Materiál je nutné před tvářením upravit na požadovaný rozměr a ohřát jej na určitou teplotu. Do výroby jsou zařazeny různé druhy manipulátorů a dopravních pásů, neboť vysoká teplota a mnohdy i hmotnost polotovarů jejich použití vyžaduje. Dále se ve výrobním procesu používají lisy, buchary nebo speciální tvářecí stroje. Také nástrojům je třeba věnovat patřičnou pozornost a to ve vztahu k jejich geometrii tvaru, konstrukci, volbě materiálu a podobně [3, 8, 21, 27, 29].

2.5.1 Stroje a zařízení užívané při kombinovaném tváření za tepla

Samotný výrobní proces může začít už v příjmovém skladě. Výchozí polotovar může být podroben vstupní kontrole, případně mohou proběhnout jeho první úpravy např.: rovnání, obr. 27, případně dělení či loupání, před transportem do výrobní dílny [25, 28]. Dělení materiálu může probíhat na těchto zařízeních:



Obr. 27 Rovnáci linka materiálu [31].

A/ Stroje pro lámání a stříhání materiálu

Jedná se o mechanické nebo hydraulické lisy osazené vhodným nástrojem, pomocí bucharu lze materiál dělit sekáním. Případně se může jednat o speciální stroje uzpůsobené pro

dělení materiálu, obr. 28. Tyto stroje se vyznačují vysokou produktivitou, nevýhodou, obzvláště u strojů, které materiál sekají nebo lámou, je velmi špatná kvalita dělené plochy [10].



Obr. 28 Profilové nůžky KNUTH HPS 55 S [32].

B/ Stroje pro dělení materiálu třískovým obráběním

Materiál lze také dělit upichováním pomocí soustruhů, dosahuje se kvalitní řezné plochy, ovšem produktivita je výrazně nižší než u stříhání nebo lámání a ztráty prořezem vysoké [10].

Další velice frekventovanou metodou dělení materiálu je řezání na pilách rámových, kotoučových nebo pásových. Pásové pily jsou výhodné tam, kde je nutné zajistit vysokou produktivitu, vyznačují se také nízkou ztrátou materiálu při dělení a příkonem stroje. Mají nepříliš vysoké pořizovací náklady s obstojnou životností nástroje. Materiál je řezán nekonečným pilovým pásem napnutým mezi hnací a hnaný kotouč vedený kladkami. Podle konstrukce se rozlišují na pásové pily vodorovné, obr. 29, a pásové pily svislé, vhodné k tvarovému vyřezávání [10, 33].



Obr 29 PILOUS pásová pila na kov ARG 380 S.A.F. 54 [34].

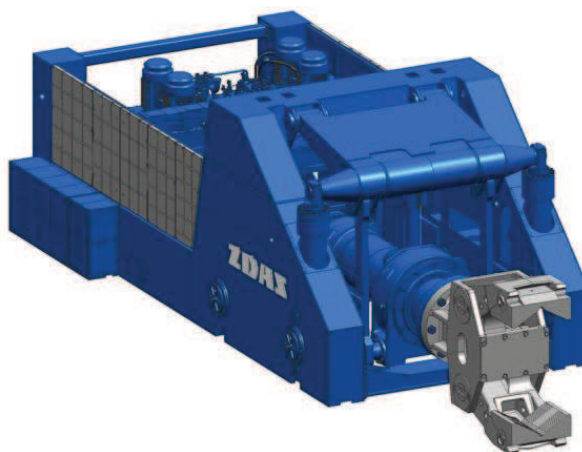
Kotoučové pily, obr. 30, se využívají tam, kde je preferována vysoká přesnost přířezu. Vyznačují se také vysokou životností nástroje, pilové kotouče mohou být ostřeny, bývají osazeny zuby nebo zubovými segmenty ze slinutých karbidů nebo z rychlořezné oceli. Nevýhodou je jejich vyšší pořizovací cena a příkon stroje. Pilový kotouč je upnutý ve vřetení a koná otáčivý pohyb a do materiálu se zařezává pouze do jedné třetiny průměru [10, 33].



Obr. 30 Kotoučová pila na kov Metallkraft LMS 400 H [35].

Posledním uvedeným druhem pil jsou pily rámové. Výhodou těchto pil je nízká pořizovací cena stroje a nástroje, naopak nízká produktivita, přesnost přířezu a velká ztráta prořezem jsou nevýhodami těchto pil. Hmotnost ramene pily určuje její přísuv do řezu. Při zpětném pohybu se rameno nadzvedne, je tak zabráněno otírání zubů o materiál. Obrobek je nehybně upnut, pilový list koná pohyb přímočarý vratný [10, 33].

Použití manipulační techniky, obr. 31, jednak urychluje a usnadňuje manipulaci s polotovary a výrobky, v některých případech však má jejich použití oporu v zákonech a nařízeních jako jsou: Směrnice Rady 90/269/EHS ze dne 29. května 1990, zákon č. 262/2006 Sb. - zákoník práce, zákon č. 309/2006 Sb. - zákon o zajištění dalších podmínek BOZP a nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. Těmito direktivy jsou dány jednak omezení týkající se pracovního prostředí (teplota, vlhkost, hluk a podobně), ale i nejvyššího povoleného množství a maximální hmotnosti břemen pro ruční manipulaci. Do výrobního procesu jsou pak zařazeny různé násypky, dopravníky, podavače, zdvihací zařízení a zařízení pro orientaci a dávkování [24, 35, 36].

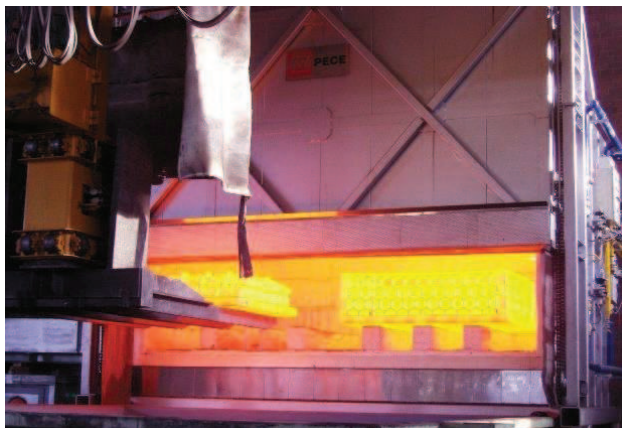


Obr. 31 Manipulátor QKK [38].

Dalším nezbytným zařízením při OTT jsou ohřívací zařízení, lze je rozdělit podle konstrukce: na pece komorové, karuselové, štěrbínové a speciální elektrické ohřívací zařízení [3, 27].

A/ Komorové pece

– slouží k ohřevu materiálu na teploty zpravidla od cca 250 °C do 1250 °C. Lze je využít také pro normalizaci, ohřev pro kalení a popouštění. Komorové průběžné pece mohou být vybaveny přídatným zařízením, jako jsou: kalicí nádrže nebo manipulační zařízení pro kompletní linku tepelného zpracování. Komorová pec může mít pevnou nístěj a pojízdné těleso pece se zvedacími dveřmi. Tak je zachována výhoda vozové pece, totiž snadný přístup ke vsázce a současně nepohyblivá nístěj zaručuje její stabilitu, a to i v případě méně výhodné skladby dílů ložených ve vrstvách nebo sloupcích, obr. 32 [3, 27].



Obr. 32 Komorová pec typ KPK 6000 [38].

B/ Karuselové pece

– jsou to průběžné pece používané pro ohřev polotovarů pro válcování, kování, lisování a protlačování v sériové výrobě, obr 33. Pro ohřívání polotovarů menších rozměrů a menších výkonů lze řešit tyto pece jako talířové. Lze je ve výrobě použít místo komorových pecí. Vsazení a vyjmutí vsázky lze zabezpečit z jednoho místa, díky otočné nístěji. Tyto pece také mají vysokou variabilitu tepelných křivek ohřevu a dobrou ekonomii provozu [3, 27].



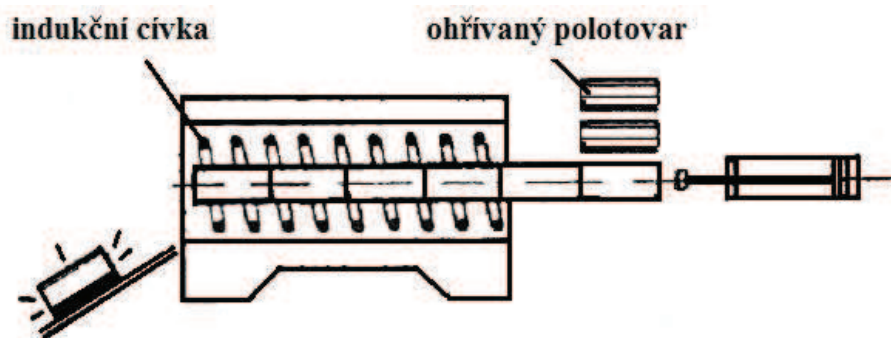
Obr. 33 Karuselová pec typ LKG [39].

C/ Štěrbínové pece

– používají se převážně na ohřev konců polotovarů, lze je konstruovat jako uzavřené nebo průchozí.

D/ Speciální elektrické ohřívací zařízení

– jedná se o zařízení využívající k ohřevu elektrického odporu materiálu o elektrické indukční ohřívačky, obr 34. Do tohoto druhu zařízení spadají také ohřívače používané v opravárenství (např. zařízení pro montáž a demontáž ložisek) [3,10,27].



Obr. 34 Schéma indukčního ohřevu[3].

Indukční ohřev je vhodný pro rychlý a bezokujový ohřev ocelových přířezů kratších délek, používá se v hromadné výrobě. S výhodou lze takto ohřívat materiál lokálně pro různé tvářecí operace ve speciálních ohřívacích zařízeních [8, 21, 27,].

Při použití indukčního ohřevu se materiál ohřívá proudem o určitém kmitočtu, tab. 6 uvádí rozdělení kmitočtů podle průměrů ocelových přířezů [21].

Tabulka 5: Vhodné kmitočty pro různé průměry ocelových přířezů [21].

Kmitočet proudu [Hz]	Průměr ocelových přířezů [mm]
10000	15 ÷ 35
4000	22 ÷ 70
2000	35 ÷ 120
1000	50 ÷ 150
600	75 ÷ 280
50	200 ÷ 800

Ohřev tvářeného materiálu v peci může probíhat v pecích na pevné palivo. Obsluha je však velmi namáhavá, produktivita nízká, vzniká hodně okují, materiál se nerovnoměrně prohřívá a provoz je velmi nečistý. Tohoto způsobu ohřevu se využívá převážně pro ruční kování. V ojedinělých případech se také lze setkat s ohřevem pomocí kapalných paliv (nafta, topný olej). Pro malosériovou a kusovou výrobu se používá ohřev v průmyslových pecích na plyn v takzvaných komorových pecích [3, 8, 21, 22, 27,].

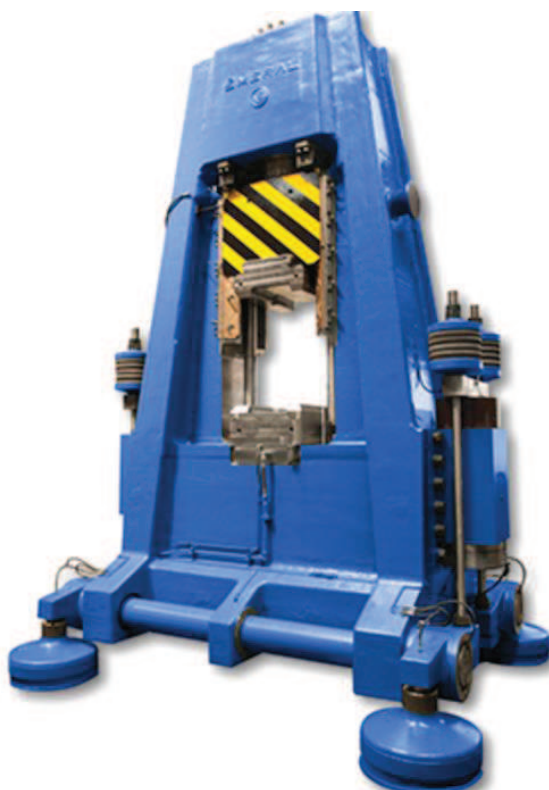
Ohřátý polotovar je po opuštění pece vložen do zařízení na odstranění okují. Okuje lze z oceli odstraňovat třemi základními způsoby. Hydraulicky tak se odstraňují tzv. primární okuje vzniklé v první fázi zpracování oceli. Pro ostřík okují se používá voda o tlaku od 10÷100 MPa. Mechanické odstraňování okují je využíváno pro okuje sekundární, které vznikají převážně po vytažení oceli z pece působením atmosféry na ohřátý kov. Při výrobě na kovací linkách se využívá převážně tento způsob odstraňování okují. Ohřátý polotovar je zbaven okují v tryskacím zařízení, které využívá tlako-vzdušného tryskání

(proudem suchého abraziva) nebo pomocí tryskacího zařízení s metacími koly. Chemická cesta se používá většinou pro odstranění terciálních okují. Jedná se o velmi tenkou vrstvu, která se odstraňuje například mořením [21, 40].

Stroje, které přímo tváří materiál lze rozdělit na buchary, lisy a speciální tvářecí stroje.

A/ Buchary

– přetvárná práce se získá pohybem beranu, který může padat volným nebo řízeným pádem. Buchary se dělí na šabotové a bezšabotové. Bezšabotovým se říká protiúderové, jelikož mají dva berany, pohybující se proti sobě. Uspořádání beranů může být svislé nebo vodorovné. Tyto stroje lze rozdělit také na mechanické, hydraulické, pneumatické a kombinované, obr. 35. Šabota může být uložena v základu stroje, nebo může být na pevno



Obr. 35 Pneumaticko-hydraulický buchar [41].

spojena s rámem stroje. Buchary pro zápusťkové kování mají uzavřený, robustní rám spojený se šabotou, jsou také vhodné pro volné kování. Dosedací rychlost beranu je 9 ms^{-1} . Při kování na bucharech je povrch výkovku lépe zbaven okují [8, 21].

B/ Lisy

– lisy lze rozdělit na mechanické a hydraulické, podle konstrukce je lze dělit na jedno-stojanové, dvoj-stojanové a rámové. Mechanické lisy se dále dělí podle přenosu síly na nástroj. U klikových lisů je krouticí moment přenášen pomocí klikového mechanismu. Kolenové lisy využívají setrvačníku a kolenového ústrojí a výstředníkové lisy výstředníku. Maximální síly u těchto lisů je dosaženo v dolní úvratí beranu. U vřetenových lisů se síla přenáší otáčením šroubového vřetena v matici pevně uložené v příčnici rámu. Působící síla nesmí, v žádné poloze beranu překročit určitou hranici, jinak hrozí poškození lisu. Proto jsou mechanické lisy proti přetížení chráněny pojistkami. Pohon mechanických lisů je zpravidla zajištěn výkonným elektromotorem. Pracovní rychlost beranu se pohybuje

v rozmezí $0,5 \div 0,9 \text{ ms}^{-1}$. Hydraulické lisy, obr. 36, pohybují beranem pomocí pístu, který je poháněn hydraulickým olejem z akumulátoru nebo přímo z čerpadla. Velikost síly je konstantní, proto lze v každé poloze beranu využít její maximální velikost. Díky této vlastnosti se jedná o stroje vhodné pro protlačování ocelí. Další výhodou je to, že beran lisu může měkce dosednout nástrojem na polotovar, což výrazně zvyšuje životnost nástroje. Rychlost beranu je u hydraulických lisů $0,01 \div 0,05 \text{ ms}^{-1}$, toho lze využít pro tváření kovů, které jsou citlivé na rychlost deformace [8, 21, 27, 28].



Obr. 36 Hydraulický univerzální lis CTH [41].

C/ Speciální tvářecí stroje

– jsou to tvářecí stroje, které umožňují provádět několik operací na jeden zdvih, stroje pracující s postupovými nástroji. Spadají sem lisy s automatickým podáváním materiálu a odebíráním výrobků, postupové automaty, válcovací tratě a podob. Cena těchto strojů bývá vyšší než u sériově vyráběných lisů, proto je u nich požadováno vysoké využití a používají se převážně pro sériovou nebo hromadnou výrobu [8, 27, 29].

2.5.2 Konstrukce nástrojů používané při kombinovaném tváření za tepla

Na materiály vhodné pro nástroje jsou kladeny vysoké nároky vzhledem k jejich mechanickému a tepelnému namáhání. Hlavní požadavky pro protlačovadla lze shrnout do těchto bodů:

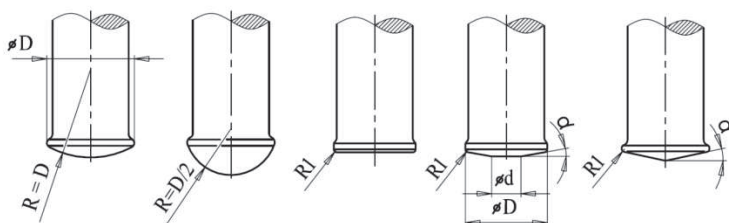
- a) vysoká pevnost a houževnatost v celém rozsahu tvářecích teplot;
- b) nízká tepelná roztažnost a co nejvyšší tepelná vodivost;
- c) vysoká otěruvzdornost;
- d) dobrá obrobitelnost;
- e) dobrá prokalitelnost a co nejvyšší popouštěcí teplota [27].

Těmto požadavkům vyhovují nástrojové oceli legované Cr, Ni, Mo, W a V. Legující prvky v oceli vážou uhlík a vytváří tak velmi tvrdé karbidy. Oceli vyhovující těmto požadavkům je celá řada patří sem například: 48CrMoV6-7 (19512), X37CrMoV5-1 (19552), 55NiCrMoV6 (19662), 55NiCrMoV7 (19663), 30WCrV17-2 (19720), X30WCrV9-13 (19721), 30WCrV15-1 (19740) a jiné. Na výrobu činných částí protlačovadel lze také požit slinutých karbidů wolframu nebo kobaltu [8, 27].

Při stanovení rozměrů nástroje je třeba pamatovat na smrštění výrobku po jeho ochlazení. Z hlediska smrštění je nutno všechny rozměry nástroje nad 10 mm konstruovat větší proti jmenovitým rozměrům, v případě ocelí o $1 \div 1,3 \%$ [16].

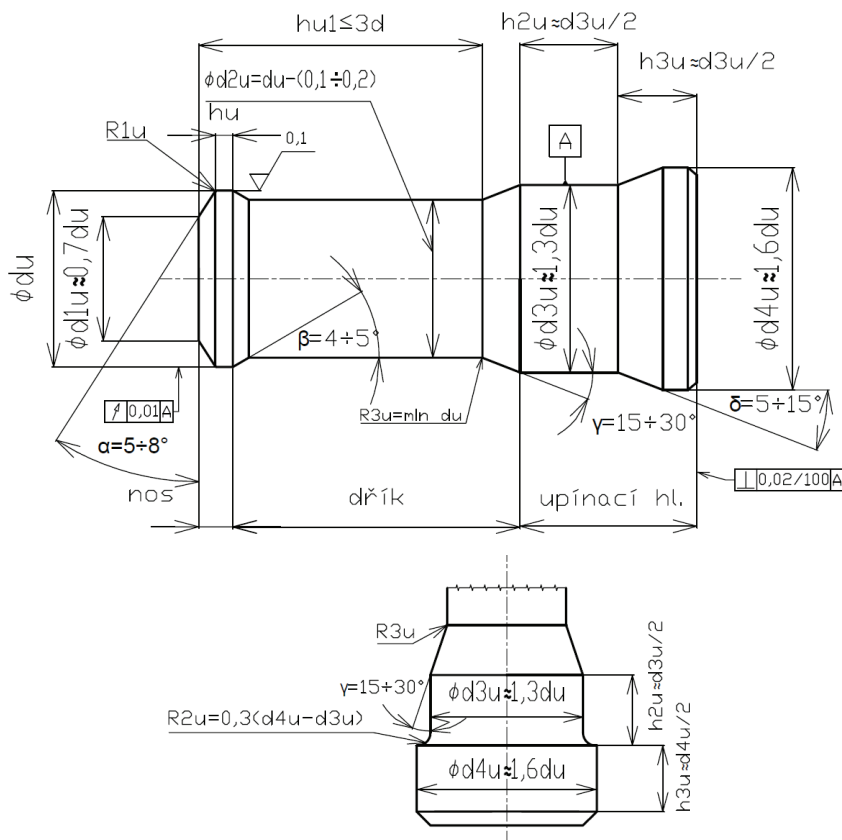
Činné části nástrojů vyrobených z oceli musí být dobře prokované. Před třískovým opracováním je doporučeno normalizační žíhání pro zjemnění zrna a u špatně obrobitelných ocelí také žíhání na měkko pro zvýšení obrobitelnosti. Po obrobení by měli být nástroje opět žíhány pro odstranění vnitřního pnutí. Poté jsou nástroje zakaleny, aby ocel získala patřičnou tvrdost a následně je výroba dovršena popouštěním. Povrchy činných částí nástrojů mají být broušené případně i leštěné, přičemž konečné úpravy povrchu mají být prováděny ve směru toku tvářeného materiálu, aby se zabránilo vzniku příčných rýh. Nástroje se doporučuje vyrábět dělené, a to tak, aby funkční části, které přicházejí do styku s tvářeným materiálem, bylo možno vyměnit. Ostatní části, které nejsou tolik opotřebovávány, je možné vyrobít z jiných materiálů [27, 28].

Dalším důležitým aspektem je tvar nástrojů. Odpor lze snížit vhodnou volbou tvaru čela tlačníku. Provedení čela se volí s ohledem na rozměry polotovaru a konečný rozměr výlisku. Obvykle má čelo tvar kužele, jež napomáhá lepšímu rozvrstvení maziva v dutině protlačku. Možné tvary čel jsou na obr. 37 [28]:



Obr. 37 Tvary čel tlačníků [28].

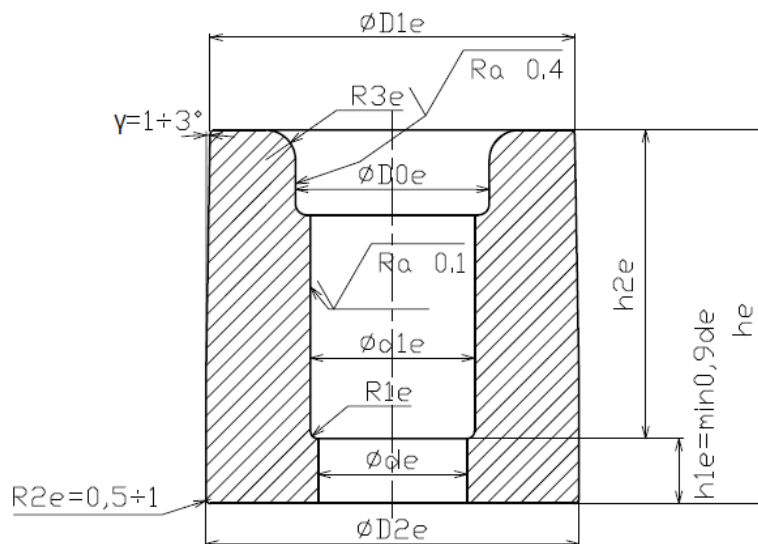
Uchycení těla tlačníku je možné řešit jako kuželové nebo válcové, obr. 38:



Obr. 38 Tlačník pro zpětné protlačování [12, 42].

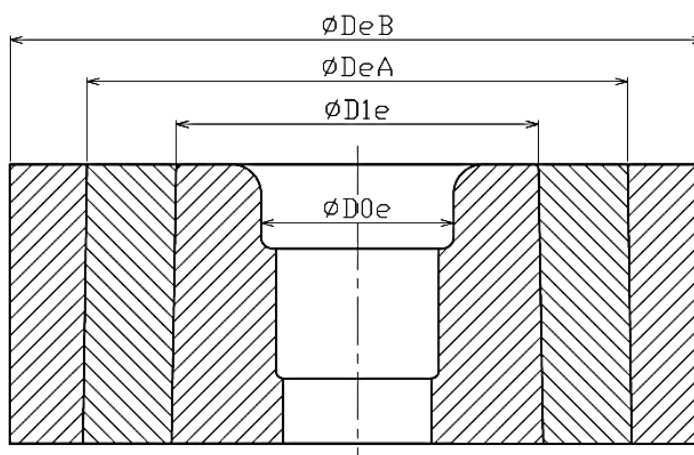
Deformační odpor potřebný k vyrobení hluboké vnitřní dutiny je velký a omezuje funkční rozměry tlačníku, jehož maximální poměr délky k průměru smí být 3:1. Ostatní rozměry by se měli držet doporučeními z ČSN 227005, což je norma pro protlačování ocelí za studena. V ní jsou uvedeny průměry jednotlivých částí tlačníku [27, 28, 42].

Některá další konstrukční doporučení z ČSN 227005 jsou znázorněna na obrázku 40 [42].



Obr. 40 Průtlačnice [42].

K dosažení vyšší životnosti průtlačnic se také využívá zalisování tělesa průtlačnice do soustavy objímek. Ty zajistí předpětí ve funkční části, ta následně lépe snáší vysoké tlaky vznikající od deformujícího se materiálu při výrobním procesu. Zvýší se také její tuhost, což má příznivý dopad na přesnost výlisku. Rozměry a tvar jsou dány protlačkem, některá omezení tvarová a rozměrová vychází z doporučení ČSN 227005, například rozměry pro zděřování průtlačnic znázorněné na obr. 39.



Obr. 39 Zděřovaná průtlačnice [42].

Jednoduše zděřovanou průtlačnici lze použít pro tlaky menší než 1600 MPa. Při vyšších tlacích je nutné průtlačnici zděřovat více krát. Rozměry z obr. 39 jsou určeny geometrií

výrobku a následně vztahem 2.24, kde D_{0e} je dán rozměrem výrobku a další rozměry se rozpočítají následně [27, 28,43]:

$$D_{1e} = 1,8 \cdot D_{0e} [mm] \quad (2.24)$$

D_{0e} – rozměr výrobku [mm],

D_{1e} – vnitřní průměr zděře [mm].

Celkový průměr jednoduše zděřované průtláčnice je D_{eA} a je 1,8 násobkem D_{1e} . Pro dvojnásobně zděřovanou průtláčnici platí poměry dané vztahem 2.25 [42]:

$$D_{0e} : D_{1e} : D_{eA} : D_{eB} = 1 : (1,6 \div 1,8) : (2,5 \div 3,2) : (4 \div 6) [mm] \quad (2.25)$$

D_{eA} – vnější průměr zděře [mm],

D_{eB} – vnější průměr průtláčnice [mm].

Protlačovadla mohou být konstruována s vnitřním chlazením, případně mohou být chlazena z vnějšku vodní mlhovinou, která může být nosičem maziva. Mazivo má chránit funkční plochy nástrojů před rychlým opotřebením, oddělovat povrchy nástrojů a výlisků a zlepšovat tok tvářeného materiálu. Při tváření oceli za tepla, které probíhá při teplotách nad 1000 °C, záleží jak na chladícím a mazacím účinku maziva tak na tom, aby se nevznítlo. Pro tuto úlohu musí mít mazivo dobré mazací schopnosti a dobrou únosnost mazacího filmu. Samotné oleje by se při takto vysokých teplotách rychle rozkládaly za tvorby nežádoucích zbytků na povrchu tvářeného materiálu a hrozilo by jejich vznícení. Používají se především tuhá maziva nebo olejnaté grafitové suspenze. Spolu s nimi, mohou být použita mýdla, např. hlinitá, nebo mastné látky (lůj, kyselina olejová aj.), zvyšující mazací schopnosti a stabilizující rozptýl tuhého maziva v roztoku. Disperzní fázi u některých tuhých maziv může být při použití vhodného materiálu nástroje i voda. Jedním z běžných mazacích prostředků je „MOLYDUVAL Aqualub G“, viz příloha 2, voda zde slouží jako nosné médium a po nastříkání se odpaří, přičemž mazivo ulpí na povrchu nástroje. Používají se také roztoky solí, např. chloridu sodného, dusičnanu draselného aj., nebo s obsahem ve vodě rozpustných sodných či draselných mýdel [21, 43].

3 TECHNOLOGIE VÝROBY KOŠE NÁRAZNÍKU

Výpočet spotřeby materiálu, přetvárného odporu, síly a práce vychází z velikosti polotovaru. Základem pro jejich stanovení jsou základní geometrická data koše nárazníku, viz příloha č. 3, výkres koše nárazníku vagonu.

Pro výpočty přetvárných odporů, tvářecí síly a velikosti polotovaru, je nutné vypočítat plochu základové desky nárazníku vagonu, tato plocha byla rozdělena podle přílohy č. 4 (plochy základové desky) a vypočítána podle vztahu 3.1.

$$S_f = (a \cdot b) - 4 \cdot \left\{ \begin{aligned} &(a_{11} \cdot b_{11}) + \left[\left(\frac{\pi \cdot (a_{12} + b_{11})^2}{360} \cdot \alpha_{12} \right) - \left(\frac{(a_{12} \cdot b_{12})}{2} \right) \right] + \\ &+ \left[(0,5 \cdot a_{13} \cdot b_{13} \cdot \sin \beta_{13}) - \left(\frac{\pi \cdot r_{13}^2}{360} \cdot \alpha_{13} \right) + (0,5 \cdot r_{13}^2 \cdot \sin \alpha_{13}) \right] + \\ &+ \left[(a_{21} \cdot b_{21}) - \left(\frac{\pi \cdot r_{21}^2}{360} \cdot \alpha_{21} \right) - \left(\frac{c_{21} \cdot (b_{21} - r_{21})}{2} \right) \right] + \\ &+ \left[\frac{d_{21} \cdot (a_{21} - c_{21})}{2} \right] + \left[\left(\frac{\pi \cdot r_{22}^2}{360} \cdot \alpha_{22} \right) - (0,5 \cdot a_{22} \cdot b_{22} \cdot \sin \alpha_{22}) \right] + \\ &+ \left(\frac{a_{23} \cdot d_{22}}{2} \right) + \left[\left(\frac{a_{23} \cdot b_{23}}{2} \right) - \left(\frac{\pi \cdot r_{23}^2}{360} \cdot \alpha_{23} \right) + (0,5 \cdot r_{23}^2 \cdot \sin \alpha_{23}) \right] \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

$$S_f = (250 \cdot 350) - 4 \cdot \left\{ \begin{aligned} &(17 \cdot 24) + \left[\left(\frac{\pi \cdot (46 + 24)^2}{360} \cdot 38 \right) - \left(\frac{46 \cdot 36}{2} \right) \right] + \\ &+ \left[(0,5 \cdot 26,5 \cdot 9 \cdot \sin 51) - \left(\frac{\pi \cdot 35^2}{360} \cdot 36 \right) + (0,5 \cdot 35^2 \cdot \sin 36) \right] + \\ &+ \left[(45 \cdot 43,5) - \left(\frac{\pi \cdot 35^2}{360} \cdot 104 \right) - \left(\frac{34 \cdot (43,5 - 35)}{2} \right) \right] + \left[\frac{5 \cdot (45 - 34)}{2} \right] + \\ &+ \left[\left(\frac{\pi \cdot 70^2}{360} \cdot 32 \right) - (0,5 \cdot 58 \cdot 54 \cdot \sin 32) \right] + \\ &+ \left[\frac{16 \cdot 2,5}{2} \right] + \left[\left(\frac{16 \cdot 93,5}{2} \right) - \left(\frac{\pi \cdot 280^2}{360} \cdot 19 \right) + (0,5 \cdot 280^2 \cdot \sin 19) \right] \end{aligned} \right\}$$

$$S_f = \underline{\underline{76847,924 \text{ mm}^2}}$$

S_f - půdorysná plocha výrobku (základové desky) [mm^2],

a – rozměr základové desky v nejširším místě [mm],

$a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{21}, a_{22}, a_{23}$ – délkové rozměry z ploch 1 a 2 [mm],

b – rozměr základové desky v nejdelším místě [mm],

$b_{11}, b_{12}, b_{13}, b_{21}, b_{22}, b_{23}$ – délkové rozměry z ploch 1 a 2 [mm],

c_{21} – délkový rozměr z plochy 2 [mm],

d_{21}, d_{22} – délkové rozměry z plochy 2 [mm],

$r_{13}, r_{21}, r_{22}, r_{23}$ – poloměry z ploch 1 a 2 [mm].

Z této plochy je vypočítán redukovaný průměr základové desky, vztah 3.2.

$$S_f = \frac{\pi \cdot D_{rzd}^2}{4} \Rightarrow D_{rzd} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_f}{\pi}} \text{ [mm]} \quad (3.2)$$

$$D_{rzd} = \sqrt{\frac{4 \cdot 76847,924}{\pi}} = \underline{\underline{312,803 \text{ mm}}}$$

D_{rzd} - redukovaný průměr základové desky [mm],

S_f - půdorysná plocha výrobku [mm²].

Pro výpočet rozměrů polotovaru je nezbytné znát objem výrobku, vztah (3.3). Sčítají se zde objemy základové desky (3.4), koše nárazníku (3.5) a objem úkosu mezi základovou deskou a košem nárazníku (3.6).

$$V_f = V_{zd} + V_k + V_u \text{ [mm}^3\text{]} \quad (3.3)$$

$$V_{zd} = S_{zd} \cdot h_f = 76847,929 \cdot 36 \text{ [mm}^3\text{]} \quad (3.4)$$

$$V_{zd} = \underline{\underline{2766525,44 \text{ mm}^3}}$$

$$V_k = \left(\frac{\pi \cdot d_{ko}^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_{ki}^2}{4} \right) \cdot h_k \text{ [mm}^3\text{]} \quad (3.5)$$

$$V_k = \left(\frac{\pi \cdot 224^2}{4} - \frac{\pi \cdot 190^2}{4} \right) \cdot 478 = \underline{\underline{5284416,454 \text{ mm}^3}}$$

$$V_u = \left[\frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h_u \cdot (r_{uo}^2 + r_{uo} \cdot r_{ko} + r_{ko}^2) \right] - \left(\frac{\pi \cdot d_{ko}^2}{4} \cdot h_u \right) \text{ [mm}^3\text{]} \quad (3.6)$$

$$V_u = \left[\frac{1}{3} \cdot \pi \cdot 34 \cdot (135^2 + 135 \cdot 112 + 112^2) \right] - \left(\frac{\pi \cdot 224^2}{4} \cdot 34 \right)$$

$$V_u = \underline{\underline{293988,147 \text{ mm}^3}}$$

$$V_f = 2766525,44 + 5284416,454 + 293988,147 = \underline{\underline{8344930,041 \text{ mm}^3}}$$

V_f - tvářený objem [mm³],

V_k - objem koše nárazníku vagonu [mm³],

V_u - objem úkosu [mm³],

V_{zd} - objem základové desky [mm³],

d_{ki} - průměr dutiny koše nárazníku vagonu [mm],

d_{ko} - vnější průměr koše nárazníku vagonu [mm],

r_{ki} - poloměr dutiny koše nárazníku vagonu [mm],

r_{ko} - vnější poloměr koše nárazníku vagonu [mm],

r_{uo} - vnější poloměr úkosu [mm],

h_f - výška základové desky [mm],

h_u - výška úkosu [mm].

3.1 Technologické výpočty

Určení rozměrů a tvaru polotovaru

Pro rozměry polotovaru je určujícím faktorem objem hotového výrobku, ke kterému je nutné přidat technologické přídatky v tomto případě pouze přídavek na propal materiálu. Vztah 3.7 vychází se tedy ze vztahů 2.12 a 2.13:

$$V_p = V_f + (0,03 \cdot V_f) [mm^3] \quad (3.7)$$

$$V_p = 8344930,041 + (0,03 \cdot 8344930,041) = \underline{8595277,942} \text{ mm}^3$$

V_f - tvářený objem [mm^3],

V_p - objem polotovaru [mm^3].

Výrobek má tvar dutého válce zakončeného dnem s přírubou, je mu tedy nejpodobnější polotovar: přířez z tyče kruhového průřezu. Průměr přířezu se vypočítá z objemu polotovaru. Vzhledem k tomu, že výrobek bude pěchován, je při výpočtu nutné zohlednit také pěchovací poměr, vztah 2.14, ze kterého vychází vztah 3.8, pro výpočet je volen maximální poměr to je 2,5, protože čím je delší přířez tím je menší pracnost výroby polotovaru:

$$\frac{l_p}{d_p} \leq 2,5 \Rightarrow l_p \leq 2,5 \cdot d_p [mm] \quad (3.8)$$

l_p - délka polotovaru [mm],

d_p - průměr polotovaru [mm].

pro průměr polotovaru vyjádřeného z objemu pak platí 3.9:

$$V_p = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \cdot l_p = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \cdot 2,5 \cdot d_p \Rightarrow d_p = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_p}{2,5 \cdot \pi}} [mm] \quad (3.9)$$

$$d_p = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 8595277,942}{2,5 \cdot \pi}} = \underline{163,585} \text{ mm}$$

volím průměr 170 mm, což je nejbližší rozměrová řada vyráběných kruhových tyčí. Délka vypočítaná z objemu je podle vztahu 3.10:

$$V_p = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \cdot l_p \Rightarrow l_p = \frac{4 \cdot V_p}{d_p^2 \cdot \pi} [mm] \quad (3.10)$$

$$l_p = \frac{4 \cdot 8595277,942}{170^2 \cdot \pi} = \underline{378,68} \text{ mm}$$

pro praktické využití pak stanovým rozměr na 379 mm.

Rozměr polotovaru podle geometrie výrobku by mohl být špalík o rozměrech ϕ 170 x 379 mm.

Přetvoření

Vypočítané rozměry polotovaru je nutno překontrolovat pomocí výpočtu logaritmického přetvoření stanovené pro jednotlivé operace. Při přechování nesmí maximální velikost logaritmického přetvoření překročit hodnotu 1,2 a vypočítá se ze vztahu 3.11, který vychází se ze vztahu 2.17:

$$\varphi_{pe} = \ln \frac{S_1}{S_0} = \ln \frac{S_f}{\frac{\pi \cdot d_p^2}{4}} \quad (3.11)$$

$$\varphi_{pe} = \ln \frac{76847,929}{\frac{\pi \cdot 170^2}{4}} = \underline{1,22}$$

S_0 – původní plocha průřezu [mm²],

$S_1=S_f$ – přetvořená plocha průřezu = půdorysná plocha výrobku [mm²],

d_p – průměr polotovaru [mm],

φ_{pe} – logaritmické přetvoření při přechování [-].

Logaritmické přetvoření překročilo maximální možnou hodnotu, je nutné přikročit ke změně geometrie polotovaru. Je zvolen větší průměr ocelové tyče a to ϕ 180 mm, což je rozměr, který se také běžně vyrábí. Pro zachování velikosti objemu polotovaru bude vypočítána nová délka ze vztahu 3.10:

$$l_p = \frac{4 \cdot 8595277,942}{180^2 \cdot \pi} = \underline{337,773 \text{ mm}}$$

l_p – délka polotovaru [mm].

Konečný rozměr polotovaru je tedy ϕ 180 x 338 mm. Kontrola na přechovací poměr podle vztahu 2.14:

$$\frac{l_p}{d_p} \leq 2,5$$

$$\frac{338}{180} \leq 2,5$$

$$1,878 \leq 2,5$$

d_p – průměr polotovaru [mm].

Přechovacímu poměru nový rozměr vyhovuje. Vypočítá se opět logaritmické přetvoření při přechování podle vztahu 3.11.

$$\varphi_{pe} = \ln \frac{76847,929}{\frac{\pi \cdot 180^2}{4}} = \underline{1,105}$$

Při tomto rozměru polotovaru logaritmické přetvoření při přechování nepřesahuje povolenou maximální hodnotu.

Další důležitou kontrolou rozměrů polotovaru je výpočet hodnoty logaritmického přetvoření pro zpětné protlačování. Maximální hodnota této veličiny je 1,4 a vypočítá se

ze vztahu 3.12, který vychází ze vztahu 2.18:

$$\varphi_{pi} = \ln \frac{S_0}{S_1} = \ln \frac{\frac{\pi \cdot d_p^2}{4}}{\frac{\pi \cdot d_{ko}^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_{ki}^2}{4}} \quad (3.12)$$

$$\varphi_{pi} = \ln \frac{\frac{\pi \cdot 180^2}{4}}{\frac{\pi \cdot 224^2}{4} - \frac{\pi \cdot 190^2}{4}} = \underline{0,834}$$

φ_{pr} – logaritmické přetvoření při zpětném protlačování [-],
 d_{ki} – průměr dutiny koše nárazníku vagonu [mm],
 d_{ko} – vnější průměr koše nárazníku vagonu [mm].

Celková hodnota logaritmického přetvoření je součtem přetvoření při pěchování a přetvoření při zpětném protlačování, vztah 3.13:

$$\varphi = \varphi_{pc} + \varphi_{pr} \quad (3.13)$$

$$\varphi = 1,105 + 0,834 = \underline{1,939}$$

φ – logaritmické přetvoření [-].

Přetvárný odpor

Při tváření za tepla výrazně klesá přetvárný odpor materiálu. Materiál S235JR obsahuje maximálně 0,23% uhlíku jeho pevnost v tahu se pohybuje v rozmezí 340÷490 MPa. Z tabulky 3 se proto zvolí maximální teplota ohřevu 1250°C a z tabulky 4 se zvolí hodnota přetvárného odporu za dané tvářecí teploty 18 MPa.

Tyto hodnoty je nutné přepočítat vzhledem k způsobu zvoleného tvářecího procesu a procesním podmínkám, jako jsou např.: geometrické rozměry výrobků, rozměry nástrojů, tření a podobně. Při kombinovaném tváření je jeho hodnota rovna součtu jednotlivých hodnot přetvárných odporů, které působí v jedné operaci. Hodnota přetvárného odporu pro pěchování se podle vztahu 2.19 určeného Sieblem vypočítá:

$$\sigma_{de} = \sigma_p \cdot \left(1 + \frac{\mu \cdot d_f}{3 \cdot h_f} \right) [MPa]$$

$$\sigma_{de} = 18 \cdot \left(1 + \frac{0,5 \cdot 312,803}{3 \cdot 36} \right)$$

$$\sigma_{de} = \underline{44,067 MPa}$$

$d_f = D_{rzd}$ – průměr na konci tváření = redukovaný průměr základové desky [mm],
 μ – součinitel tření ($\mu = 0,5$ – výpočtová hodnota),
 h_f – výška základové desky [mm],
 σ_{de} – přetvárný odpor při pěchování za dané teploty [MPa],
 σ_p – tvářecí odpor za kovací teploty [MPa].

Hodnota přetvárného odporu pro zpětné protlačování v dané operaci, se vypočítá ze vztahu 2.20:

$$\sigma_{di} = 1,152 \cdot \sigma_p \cdot \frac{S_e}{S_u} \cdot \left(\log \frac{S_e}{S_e - S_u} + \frac{S_e}{S_e - S_u} \cdot \log \frac{S_e}{S_u} + \log \frac{S_u}{S_e - S_u} \right) [MPa]$$

$$\sigma_{di} = 1,152 \cdot 18 \cdot \frac{\frac{\pi \cdot 224^2}{4}}{\frac{\pi \cdot 190^2}{4}} \cdot \left(\log \frac{\frac{\pi \cdot 224^2}{4}}{\frac{\pi \cdot 224^2}{4} - \frac{\pi \cdot 190^2}{4}} + \frac{\frac{\pi \cdot 224^2}{4}}{\frac{\pi \cdot 224^2}{4} - \frac{\pi \cdot 190^2}{4}} \cdot \log \frac{\frac{\pi \cdot 224^2}{4}}{\frac{\pi \cdot 190^2}{4}} + \log \frac{\frac{\pi \cdot 190^2}{4}}{\frac{\pi \cdot 224^2}{4} - \frac{\pi \cdot 190^2}{4}} \right)$$

$$\sigma_{di} = \underline{42,39 \text{ MPa}}$$

S_e – plocha průtláčnice [mm^2],

S_u – plocha tlačníku [mm^2],

σ_{di} – přetvárný odpor při zpětném protlačování za dané teploty [MPa].

Celkový přetvárný odpor pro kombinované tváření je dán vztahem 3.14:

$$\sigma_d = \sigma_{de} + \sigma_{di} [MPa] \quad (3.14)$$

$$\sigma_d = 44,067 + 42,39 = \underline{86,457 [MPa]}$$

σ_d – přetvárný odpor při tváření za dané teploty [MPa],

σ_{de} – přetvárný odpor při pēchování za dané teploty [MPa].

Přetvárná síla

Hodnota velikosti přetvárné síly je určující faktor pro výběr tvářecího stroje. Výpočet bude proveden pole vztahu 2.21 od Reblského. Síla potřebná pro pēchování, vztah 3.15:

$$F_e = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot d_f) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{d_f} \right) \cdot \sigma_d \cdot S_f [N] \quad (3.15)$$

$$F_e = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot 312,803) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{312,803} \right) \cdot 44,067 \cdot 76847,929$$

$$F_e = \underline{21664334,77 \text{ N}}$$

F_e – pēchovací síla [N],

S_f – půdorysná plocha výrobku (základové desky) [mm^2],

$d_f = D_{rzd}$ – průměr na konci tváření = redukovaný průměr základové desky [mm],

$\sigma_d = \sigma_{de}$ – přetvárný odpor při tváření za dané teploty = přetvárný odpor při pēchování za dané teploty [MPa].

Síla potřebná pro zpětné protlačování je pro danou operaci dána vztahem 3.16:

$$F_i = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot d_f) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{d_f}\right) \cdot \sigma_d \cdot S_f \text{ [N]} \quad (3.16)$$

$$F_i = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot 224) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{224}\right) \cdot 42,39 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 224^2}{4} - \frac{\pi \cdot 190^2}{4}\right)$$

$$F_i = \underline{3460031,128 \text{ N}}$$

F_i – síla pro zpětné protlačování [N],

S_f – půdorysná plocha výrobku (základové desky) [mm²],

$d_f = d_{ko}$ – průměr na konci tváření = vnější průměr koše nárazníku vagonu [mm],

$\sigma_d = \sigma_{di}$ – přetv. odpor při tváření = přetv. odpor při zpětném protlačování [MPa].

Celková síla je součtem síly při přechování a zpětném protlačování, vztah 3.17:

$$F_{tv} = F_e + F_i \text{ [N]} \quad (3.17).$$

$$F_{tv} = 21664334,77 + 3460031,128 = 25124365,9 \text{ N} \doteq \underline{\underline{25,124 \text{ MN}}}$$

Přetvárná práce

Přetvárnou práci lze vypočítat ze vztahu 2.22:

$$W = \sigma_{ps} \cdot V_f \cdot \varphi \text{ [J]}$$

Střední přetvárný odpor se vypočítá ze vztahu 2.23:

$$\sigma_{ps} = \frac{1}{\varphi} \int_0^{\varphi} \sigma_d d\varphi \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_{ps} = \frac{1}{1,939} \int_0^{1,939} 86,457 d\varphi = 86,457 \text{ MPa}$$

$$W = 86,457 \cdot 8344930,041 \cdot 1,939 = 1398945098 \text{ J} \doteq 1398,945 \text{ MJ}$$

W – práce [J],

V_f – tvářený objem [mm³],

σ_{ps} – střední přetvárný odpor [MPa],

φ – skutečné přetvoření [-].

Hmotnost polotovaru je vypočítána podle vztahu 3.18:

$$\rho_{oc} = \frac{m_p}{V_f} \Rightarrow m_p = \rho_{oc} \cdot V_f \text{ [kg]} \quad (3.18)$$

$$m_p = 7850 \cdot 8595277,942 \cdot 10^{-9} = 67,473 \text{ kg} \doteq \underline{\underline{67,5 \text{ kg}}}$$

V_f – tvářený objem [mm³],

m_p – hmotnost polotovaru [kg],

ρ_{oc} – hustota oceli [kgm⁻³].

3.2 Návrh výrobních strojů

Na začátku výrobní linky bude stát pásová pila, jejíž parametry jsou takové, aby mohly odříznout ocelový špalík o rozměrech $\phi 180 \times 338$ mm. Pro výrobu bude použita robustní univerzální poloautomatická pásová pila vyráběná firmou Pilous typ: ARG 250 plus, obr. 40. Zřízení provede automaticky celý řezací cyklus, lze jej také vhodně doplnit dopravníkem pro podávání a odběr materiálu. Technické parametry: hlavní motor 400 V / 50 Hz / 2,2 kW, motor čerpadla 400 V / 50 Hz / 0,05 kW, motor hydraulického agregátu 400 V / 50 Hz / 0,55 kW, pilový pás 27 x 0,9 mm, rychlost pásu 15÷90 m/min, pracovní výška svěráku 910 mm, olej v hydraulickém systému cca 25 l, obsah nádrže na chladicí kapalinu cca 15 l, rozměry stroje (max.) 180 x 1250 x 1800 mm, hmotnost 550 kg [54].



Obr. 40 Pásová pila na kov ARG 250 plus [34].

Za ní bude následovat zásobník na odřezané špalíky a zařízení na orientaci přířezů s dopravníkem, který bude nařezaný materiál dopravovat do průběžné indukční pece, která polotovary ohřeje na kovací teplotu 1250 °C, množství 700 kg materiálu hodinově. Bude použita upravená pec KSO 800/1,5-A100 od firmy ROBOTERM spol.s r.o.. Úprava bude spočívat v instalaci většího nosného profilu žlábků dopravníku.



Obr. 41 Indukční pec firmy Roboterm [44].

Maximální instalovaný příkon 800 kW. Na vstupu do pece bude umístěno automatické zařízení pro zakládání studených přířezů. Teplota ohřívaného polotovaru bude kontrolována bezdotykovým teploměrem, ten bude regulovat výkon ohříváče. Zároveň bude podle teploty řízena funkce třídičky ohřátých přířezů, která je roztřídí na správně ohřáté, nedohřáté a přehřáté. Řízení ohříváče bude vybaveno programovatelným automatem, ovládání ohřevu bude z komunikačního panelu, na němž se nastaví parametry

ohřevu (teplota, výkon apod.) a musí na něm být umístěna signalizace poruch zařízení. Samotné zařízení bude umístěno tak, aby operátor mohl snadno kontrolovat a řídit jeho provoz a zároveň, aby nemohlo dojít k nežádoucímu kontaktu s ohřátým polotovarem [44].

Nezbytnou součástí výrobní linky bude také manipulátor na manipulaci s teplým polotovarem a výliskem o hmotnosti 67,5 kg. Ten jednak vyjme přířez z pece a vloží jej do stroje na odstranění okují, po od okuzení jej vloží do lisovnice a pak uloží výrobek na ochlazovací linku případně do transportní bedny. K tomu to účelu může být použit manipulátor od firmy ABB, typ IRB 6650S-90/3.9, obr. 41, viz příloha 5. Technické parametry: nosnost 90 kg, dosah 3,9 m, počet ovládaných os 6, spotřeba energie 2,4 kW, hmotnost 2275 kg, krytí IP65 [45].



Obr. 41 Manipulátor firmy IRB 6650S [45].

Dalším zařízením sloužícím výrobě bude zařízení pro odstranění okují od firmy OTECO, typ SMART 2, obr. 42, které bude vybaveno ocelovým pásem a filtrační jednotkou. Vstupní dveře budou ovládány automatikou a přířez na výstupu bude vynášecím dopravníkem přesunut na dosah manipulátoru IRB 6650S. Ovládací panel zařízení bude umístěn mimo dosah manipulátoru, tak aby nemohlo dojít ke zranění operátora výroby při jeho obsluze. Technické parametry: objem vsázky max. 70 l, hmotnost 500 kg, příkon 12 kW, šířka bubnu 900 mm, průměr bubnu 800 mm, filtrační jednotka OT 20 JP [46].



Obr. 42 SMART 2 s filtrační jednotkou [46].

Základem této tvářecí linky bude lis. Vzhledem k zvolenému způsobu výroby, bude se kombinovat pěchování a zpětné protlačování, se bude jednat o hydraulický lis, který disponuje maximální lisovací silou v jakékoliv poloze beranu. Velikost síly musí být větší než 25,124 MN. Ovládací a kontrolní panel lisu bude umístěn mimo pracovní prostor manipulátoru. Pro výrobu byl zvolen lis vyráběný firmou ŽĐAS a.s., typ CTHN 3000. Parametry: příkon lisu 965 kW, jmenovitá síla 30MN, zdvih beranu 1300 mm, upínací plocha 1800 x 1800 mm, jmenovitá síla vyřazeče 1500 kN, výška lisu 7800 mm, parametry získány e-mailovou komunikací s firmou ŽĐAS a.s., viz příloha 6.



Obr. 43 Montáž lisu CTHN 3000 [47].

Po té co výlisek opustí výrobní zařízení a dojde k jeho ochlazení na ochlazovací části linky, bude prováděna pravidelná kontrola geometrie u každého dvacátého kusu. Kalibračním přípravkem se zkontroluje tvar základové desky koše nárazníku, posuvným měřítkem se změří vnější průměr koše nárazníku, průměr dutiny se bude kontrolovat kalibračním přípravkem, zároveň proběhne i vizuální kontrola stavu povrchu výlisku. Každý padesátý kus, se přemístí do místnosti určené pro kontrolu a bude podroben podrobnější kontrole na optickém přístroji od firmy Mitutoyo, typ Crysta-Apex S, série

191, model 776, obr. 44. Kontrolované parametry: ovalita koše nárazníku, kolmost koše nárazníku na základovou desku a ostatní geometrické rozměry. Parametry: Rozsah měření 700 x 700 x 600 mm, hmotnost měřeného dílu 800 kg, výška měřeného dílu 800 mm, hmotnost přístroje 1675 kg [48].



Obr. 44 Optický přístroj Mitutoyo [48].

Výrobní linka musí být oddělena od prostoru pro obsluhu pevnou překázkou (plotem či zdí), aby nemohlo dojít k náhodnému vstupu do výrobního prostoru. Vstup do těchto míst může být pouze s vědomím obsluhujícího operátora výroby. Provoz linky bude signalizován světelnou signalizací.

3.3 Návrh nástroje

Tlačník

Čelo tlačníku je ploché, aby zabezpečilo správné napěchování základové desky a uprostřed má výstupek ve tvaru kužele, který zabezpečí přesnou polohu tvářeného polotovaru a vedení maziva při výrobním procesu. Hrana čela tlačníku je zaoblena na poloměr tři milimetry. Průměr funkční části tlačníku je zvětšený pro eliminaci smrštění materiálu o 1%. Výpočet průměru, vztah 3.19:

$$d_{pu} = d_{ki} \cdot 0,01 \text{ [mm]} \quad (3.19)$$

$$d_{pu} = 190 \cdot 0,01 = 191,9 \text{ mm}$$

d_{pu} – průměr tlačníku [mm],

d_{ki} – průměr dutiny koše nárazníku vagonu [mm].

Tlačník je konstruován ze dvou dílů s odnímatelnou částí, která přichází do styku s materiálem, protože se předpokládá výměna funkční části po 20÷30 vyrobených výliscích. Je konstruován jako nástroj s vnitřním chlazením, které je zabezpečeno z externího chladicího okruhu. Nejzatěžovanější část tlačníku je výkovek z oceli X37CrMoV5-1 (19552), vlastnosti viz příloha 7, zakalený a následně popuštěný, s výslednou tvrdostí 52÷54 HRC, jehož povrch je leštěn. Zbýlá část je vyrobena z oceli 51CrV4 (15621), vlastnosti viz příloha 8, taktéž zakalená a následně popuštěná. Obě části jsou spojeny rozebíratelným spojem. Sestava tlačníku a výrobní výkres tlačníku je v příloze 9.

Průtlačnice

Průtlačnice se skládá ze tří částí, funkční část je vyrobená z oceli X37CrMoV5-1 (19552), jedná se o výkovek, který je kalený a popuštěný s výslednou tvrdostí povrchu 52÷54 HRC, a následně leštěný. Obě objímky funkční části průtlačnice jsou vyrobeny z oceli 54SiCr6 (14260) vlastnosti viz příloha 10. Spojení všech tří částí průtlačnice je provedeno nalisováním. Mezi stěnami objímek je vytvořen prostor pro vnitřní chlazení nástroje, které je zabezpečeno z externího chladicího okruhu stejně jako u tlačníku. Dále je průtlačnice vybavena v horní části uzavíracím mechanismem, po jehož otevření je výlisek vytlačen z nástroje a stíracím zařízením na přidržení výlisku. Vnitřní průměr průtlačnice je pro eliminaci smršťení materiálu zvětšený také o 1%, je vypočítán podle vztahu 3.20:

$$d_{pe} = d_{ko} \cdot 0,01 \text{ [mm]} \quad (3.20)$$

$$d_{pe} = 224 \cdot 0,01 = 226,24 \div \underline{226,2 \text{ mm}}$$

d_{pe} – vnitřní průměr průtlačnice [mm].

Rozměry objímek jsou dle doporučení ČSN 227005 vyjádřené vztahem 2.26, pro výpočet objímek průtlačnice bude vycházeno z redukovaného průměru základové desky podle vztahu 3.21:

$$D_{0e} : D_{1e} : D_{eA} : D_{eB} = 1 : 1,6 : 2,5 : 5 \text{ [mm]} \quad (3.21)$$

$$D_{0e} = 312,8 \text{ mm}$$

$$D_{1e} = 312,8 \cdot 1,6 = 500,48 \div \underline{500,5 \text{ mm}}$$

$$D_{eA} = 312,8 \cdot 3 = \underline{938,4 \text{ mm}}$$

$$D_{eB} = 312,8 \cdot 5 = \underline{1564 \text{ mm}}$$

$D_{0e} = D_{rzd}$ – rozměr výrobku = redukovaný průměr základové desky [mm],

D_{1e} – vnitřní průměr zděře [mm],

D_{eA} – vnější průměr zděře [mm],

D_{eB} – vnější průměr průtlačnice [mm].

Výkres sestavy nástroje je přílohou 11 této práce.

Mazivo je přivedeno pomocí externího zařízení, které čerpá směs vodní mlhoviny a maziva „Molyduval Aqualub G“ a nanáší ji na funkční části tlačníku i průtlačnice.

3.4 Výrobní postup

Na pilách budou odřezávány špalíky o rozměrech ϕ 180 x 338 mm, které budou zachytávány do třídícího zařízení. Pomocí vibračního zařízení budou špalíky postupně tříděny tak, aby do výroby pokračovaly pouze ty přířezy se správnou velikostí. Dále toto zařízení zajistí správnou orientaci špalíků tak, aby byl zajištěn průchod pecí. Následně budou dopravníkem dopravovány do elektrické indukční pece. Zde budou ohřáty na teplotu 1250 °C. Na výstupu pece bude automaticky provedena kontrola teploty, špatně ohřáté polotovary budou vytríděny. Přehřáté přířezy budou skluzem svedeny do transportní bedny a nedohřáté budou vráceny zpět do pece. Správně ohřátý polotovar bude transportován manipulátorem do zařízení na odstranění okují. Z něj pak bude manipulátorem vyjmut a

vložen do nástroje lisu. Zde dojde k automatickému vystředění polotovaru pomocí tvarových přidržovačů. Následně pak pýchovací hlava dosedne na špalík a bude se pohybovat směrem k tlačníku. Pohyb hlavy se zastaví v poloze umožňující její uzamčení v průtláčnici a odemkne se zámek stojny. Dále se budou pohybovat společně pýchovací hlava i průtláčnice proti tlačníku. Materiál bude pýchován pro vytvoření základové desky koše nárazníku a zároveň dojde k vytvoření samotného tělesa koše nárazníku zpětným protlačováním. Na konci tohoto procesu bude výlisek vytlačen z nástroje pomocí vyhazovače a zachycen na stíracím zařízení. Z nástroje lisu bude pak výlisek vložen manipulátorem na ochlazovací linku. Po ochlazení bude výrobek vložen do transportní bedny a odvezen vysokozdvížným vozíkem do výstupního skladu, zde jsou vybrané kusy podrobeny výstupní kontrole.

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

4.1 Spotřeba materiálu

Spotřeba materiálu vychází z rozměru polotovaru – ϕ 180 x 338 mm a jeho hmotnosti – 67,5 kg. Šířka prořezu je dána parametry pilového pásu, kde jeho šířka je 0,9 mm výpočtová hodnota pak 1 mm.

Volba rozměru tyče

Správně zvolená délky tyče, z které se budou ořezávat přířezy, by měla mít co nejnižší odpad materiálu ve formě nevyužitého zbytku z tyče a z hlediska minimalizace manipulací s materiálem co největší počet přířezů. Návrh vychází ze vztahu 2.15 pro počet přířezů z tyče:

$$n_p = \frac{l_t}{l_p + l_{pr}} [ks]$$

Varianta A:

$$n_{pA} = \frac{2500}{338+1} = 7,375 \approx \underline{7} ks$$

Varianta B:

$$n_{pB} = \frac{30000}{338 + 1} = 8,85 \approx \underline{8} ks$$

Varianta C:

$$n_{pC} = \frac{3500}{338 + 1} = 10,324 \approx \underline{10} ks$$

$n_p, n_{pA}, n_{pB}, n_{pC}$ – počet přířezů, počet přířezů jednotlivých variant [ks],

l_p – délka polotovaru [mm],

l_{pr} – délka prořezu [mm],

l_t – délka tyče [mm].

Varianta C se jeví jako nejvýhodnější, špalíky se proto budou řezat z tyče ϕ 180 x 3500 mm.

Pro celkovou spotřebu materiálu při předpokládané výrobě 7 kusů hodinově, je nutno znát roční fond pracoviště. Z něj následně spočítat roční fond strojního pracoviště, který zahrnuje možné negativní vlivy působící na výrobu, jako je např.: poruchovost zařízení, výpadky energií, zásahy vyšší moci (přírodní vlivy) a podobně. Tento čas ovšem nezahrnuje např.: montáž nového zařízení, seřízení linky, testování provozu linky a podobně.

Roční fond pracoviště, vztah 3.1 [29]:

$$E_p = (N_{DR} - N_{NE} - N_{SO} - N_{SV}) \cdot n_{sm} [hod/rok] \quad (3.1)$$

$$E_p = (365 - 53 - 52 - 10) \cdot 8 = \underline{2000} hod/rok$$

E_p – časový fond pracoviště [hod/rok],

N_{DR} – počet dní v roce [den],

N_{NE} – počet nedělí v roce (výpočtová hodnota 53) [den],

N_{SO} – počet sobot v roce (výpočtová hodnota 52) [den],

N_{SV} – počet svátků v roce (výpočtová hodnota 10) [den],

n_{sm} – počet hodin na směnu (výpočtová hodnota 8) [hod].

Roční fond strojního pracoviště, pro fond strojního pracoviště platí vztah 3.2 [29]:

$$E_S = E_p - (0,11 \cdot E_p) [\text{hod/rok}] \quad (3.2)$$

$$E_S = 2000 - (0,11 \cdot 2000) = \underline{1780} \text{ hod/rok}$$

E_S – roční fond strojního pracoviště [hod/rok].

Roční produkce se vypočítá podle vztahu 3.3:

$$Q_r = E_S \cdot 7 [\text{hod/rok}] \quad (3.3)$$

$$Q_r = 1780 \cdot 7 = \underline{12460} \text{ ks/rok}$$

Q_r – roční předpokládaná výroba [ks].

Při předpokládané výrobě 12460 kusů za rok je spotřeba tyčí dána vztahem 3.4:

$$n_t = \frac{Q_r}{n_{pc}} [\text{ks}] \quad (3.4)$$

$$n_t = \frac{12460}{10} = \underline{1246} \text{ ks}$$

n_t – počet kruhových tyčí rozměru $\phi 180 \times 3500$ mm [ks].

Celková spotřeba materiálu bude vycházet ze vztahu 2.16:

$$m_{cv} = m_p + m_{pr} + m_z [\text{kg}]$$

m_{cv} – celková hmotnost materiálu na jeden výrobek [kg],

m_p – hmotnost polotovaru [kg],

m_{pr} – hmotnost prořezu [kg],

m_z – hmotnost ze zbytku tyče na jeden výrobek [kg].

Hmotnost prořezu se vypočítá jako součin jeho objemu s hustotou oceli, vztah 3.5:

$$m_{pr} = \rho_{oc} \cdot \left(\frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \cdot l_{pr} \right) [\text{kg}] \quad (3.5)$$

$$m_{pr} = 7850 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 180^2}{4} \cdot 1 \cdot 10^{-9} \right) = \underline{0,2} \text{ kg}$$

d_p – průměr polotovaru [mm],

m_{pr} – hmotnost prořezu [kg],

l_{pr} – délka prořezu [mm],

ρ_{oc} – hustota oceli [kgm^{-3}].

Pro výpočet hmotnosti zbytku tyče na jeden výrobek je nutné znát její délku, vztah 3.6:

$$l_z = (l_p + l_{pr}) \cdot (10,324 - 10) [\text{mm}] \quad (3.6)$$

$$l_z = (338 + 339) \cdot (10,324 - 10) = 109,836 \div \underline{110} \text{ mm}$$

l_p – délka polotovaru [mm],

l_z – délka zbytku z tyče [mm].

Hmotnost ze zbytku tyče na jeden výrobek je vyjádřené vztahem 3.7:

$$m_z = \frac{\rho_{oc} \cdot \left(\frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \cdot l_z \right)}{n_t} [kg] \quad (3.7)$$

$$m_z = \frac{7850 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 180^2}{4} \cdot 110 \cdot 10^{-9} \right)}{10} = \underline{2,197 kg}$$

$$m_{cv} = 67,5 + 0,2 + 2,197 = \underline{\underline{69,897 kg}}$$

m_{cv} – celková hmotnost materiálu na jeden výrobek [kg].

Využití materiálu se vypočítá ze vztahu 3.8:

$$\eta_m = \frac{m_p - m_{pro}}{m_{cv}} \cdot 100 [\%] \quad (3.8)$$

$$\eta_m = \frac{67,5 - (67,5 \cdot 0,03)}{69,897} \cdot 100 = \underline{\underline{93,67 \%}}$$

m_p – hmotnost polotovaru [kg],

m_{pro} – hmotnost propalu [kg],

η_m – využití materiálu [%].

Celková roční předpokládaná spotřeba je daná vztahem 3.9:

$$m_c = Q_r \cdot m_{cv} [kg] \quad (3.9)$$

$$m_c = 12460 \cdot 69,897 = \underline{\underline{870916,62 kg}}$$

Q_r – roční předpokládaná výroba [ks],

m_c – roční předpokládaná spotřeba materiálu [kg].

Množství odpadu, který bude využit, jako druhotná surovina se vypočítá ze vztahu 3.10:

$$m_o = m_c \cdot [(100 - \eta_m) \cdot 0,01] [kg] \quad (3.10)$$

$$m_o = 870916,62 \cdot [(100 - 96,57) \cdot 0,01] = \underline{\underline{29872,44 kg}}$$

m_c – roční předpokládaná spotřeba materiálu [kg],

m_o – hmotnost odpadu [kg],

η_m – využití materiálu [%].

Cena za materiál

Dle ceníku firmy FERRUM s.r.o. je cena tohoto materiálu 199,67 CZK za jeden kilogram [49]. Cena nakoupeného materiálu je dána vztahem 3.11:

$$C_{nm} = m_c \cdot 199,67 [CZK] \quad (3.11)$$

$$C_{nm} = 870916,62 \cdot 199,67 = \underline{\underline{173895921,52 CZK}}$$

C_{nm} – cena nakoupeného materiálu [CZK].

Výkupní cena železného šrotu je podle ceníku zveřejněném na internetových stránkách firmy ALBA WASTE a.s. 5 CZK za jeden kilogram [50]. Druhotné suroviny mají hodnotu určenou vztahem 3.12:

$$\begin{aligned} C_{ds} &= m_o \cdot 5 \text{ [CZK]} \\ C_{ds} &= 29872,44 \cdot 5 = \underline{149362,2 \text{ CZK}} \end{aligned} \quad (3.12)$$

C_{ds} – cena druhotných surovin [CZK],

m_o – hmotnost odpadu [kg].

Celková cena za spotřebovaný materiál je podle vztahu 3.13:

$$\begin{aligned} C_C &= C_{nm} - C_{ds} \text{ [CZK]} \\ C_C &= 173895921,52 - 149362,2 = \underline{173746559,32 \text{ CZK}} \end{aligned} \quad (3.13)$$

C_C – cena za spotřebovaný materiál [CZK],

C_{nm} – cena nakoupeného materiálu [CZK].

4.2 Mzdové náklady

Výroby se budou účastnit tyto zaměstnanci: dva dělníci obsluhující pilu, manipulační dělník, dva operátoři výrobní linky, dva dělníci zajišťující pomocné práce (údržbu), jeden zaměstnanec kontroly a vedoucí směny. Jedná se tedy dohromady o devět lidí, podle internetových stránek eprehledy.cz je průměrná výše platů těchto profesí rozvrstvena následovně: obsluha pily 21497 CZK za měsíc, manipulační dělník 20190 CZK měsíčně, operátor linky 31631 CZK za měsíc, dělník údržby 25091 CZK měsíčně, kontrolor 33371 CZK za měsíc a vedoucí směny 36527 CZK měsíčně [51]. Hrubá mzda zaměstnanců bude:

$$\begin{aligned} H_M &= (12 \cdot 21497 \cdot 2) + (12 \cdot 20190) + (12 \cdot 31631 \cdot 2) + \\ &+ (12 \cdot 25091 \cdot 2) + (12 \cdot 33371) + (12 \cdot 36527) = \underline{2958312 \text{ CZK}} \end{aligned}$$

H_M – celková hrubá mzda zaměstnanců [CZK].

K hrubé mzdě je nutno připočítat také sociální a zdravotní pojištění, tento součet tvoří celkové mzdové náklady na zaměstnance vztah 3.14[52]:

$$\begin{aligned} C_{MN} &= H_M + S_P + Z_P = H_M + (0,135 \cdot H_M) + (0,25 \cdot H_M) \text{ [CZK]} \\ C_{MN} &= 2958312 + (0,135 \cdot 2958312) + (0,25 \cdot 2958312) \\ C_{MN} &= \underline{4097262,12 \text{ CZK}} \end{aligned} \quad (3.14)$$

C_{MN} – celkové mzdové náklady [CZK],

S_P – sociální pojištění [CZK],

Z_P – zdravotní pojištění [CZK].

4.3 Předpokládaná spotřeba energií ve výrobě

Celková předpokládaná spotřeba elektrické energie pro stroje a zařízení, které se podílí přímo na výrobě, vychází z jejich výkonu, který je 80% příkonu, a se týká pásové pily, elektrické indukční pece, manipulátoru, zařízení pro odstranění okují, lisu, zařízení které zajišťuje provoz na ochlazovací lince [53].

Výkon pásové pily je 2,8 kW [34], předpokládá se nepřetržitý provoz po celou dobu směny. Roční spotřeba elektrické energie je vypočítána ze vztahu 3.15:

$$P_{rp} = 1,25 \cdot E_S \cdot P_{pp} \text{ [kW/rok]} \quad (3.15)$$

$$P_{rp} = 1,25 \cdot 1780 \cdot 2,8 = \underline{6230} \text{ kW/rok}$$

E_S – roční fond strojního pracoviště [hod/rok],

P_{pp} – příkon pásové pily [kW],

P_{rp} – roční příkon pásové pily [kW/rok].

U indukční pece s výkonem 800 kW, se počítá také s provozem po celou směnu, ale výkon pece bude poloviční. Spotřeba za jeden rok je dána vztahem 3.16:

$$P_{ri} = 1,25 \cdot E_S \cdot P_{ip} \text{ [kW/rok]} \quad (3.16)$$

$$P_{ri} = 1,25 \cdot 1780 \cdot 400 = \underline{890000} \text{ kW/rok}$$

P_{ip} – příkon indukční pece [kW],

P_{ri} – roční příkon indukční pece [kW/rok].

Pro manipulátor o celkovém výkonu 2,4 kW se počítá s nepřetržitým provozem a velikostí ročního příkonu podle vztahu 3.17:

$$P_{rm} = 1,25 \cdot E_S \cdot P_{mp} \text{ [kW/rok]} \quad (3.17)$$

$$P_{rm} = 1,25 \cdot 1780 \cdot 2,4 = \underline{5340} \text{ kW/rok}$$

E_S – roční fond strojního pracoviště [hod/rok],

P_{mp} – příkon manipulátoru [kW],

P_{rm} – roční příkon manipulátoru [kW/rok].

Pro zařízení na odstranění okují s výkonem 12 kW [46] je počítáno s přetržitým provozem, doba jedné operace je stanovena na 2 min. Roční spotřeba elektrické energie je daná vztahem 3.18:

$$P_{ro} = 1,25 \cdot E_S \cdot t_o \cdot P_{oz} \text{ [kW/rok]} \quad (3.18)$$

$$P_{ro} = 1,25 \cdot 1780 \cdot \frac{14}{60} \cdot 12 = \underline{6230} \text{ kW/rok}$$

P_{oz} – příkon zařízení na odstranění okují [kW],

P_{ro} – roční příkon zařízení na odstranění okují [kW/rok],

t_o – doba jedné operace [min].

Lis má příkon 965 kW. U lisu se počítá s přetržitým provozem, čas jedné operace je stanoven na 1 min. Roční příkon, vztah 3.19:

$$P_{rl} = E_S \cdot t_o \cdot P_l \text{ [kW/rok]} \quad (3.19)$$

$$P_{rl} = 1780 \cdot \frac{7}{60} \cdot 965 = \underline{200398,333} \text{ kW/rok}$$

P_l – příkon lisu [kW],

P_{rl} – roční příkon lisu [kW/rok].

Dopravníky a zařízení, která zajišťují provoz na lince, včetně dochlazovací části linky mají příkon 10 kW, je počítáno s nepřetržitým provozem a mají spotřebu danou vztahem 3.20:

$$P_{rd} = E_S \cdot P_{dp} \text{ [kW/rok]} \quad (3.20)$$

$$P_{rd} = 1780 \cdot 10 = \underline{17800} \text{ kW/rok}$$

E_S – roční fond strojního pracoviště [hod/rok],

P_{dp} – příkon dopravníků [kW],

P_{rd} – roční příkon dopravníků [kW/rok].

Celkové roční náklady na spotřebovanou elektrickou energii strojů pracujících ve výrobním procesu na základě výpočtu podle aktuálního ceníku firmy ČEZ a.s. a podle vztahu 3.21 jsou:

$$C_{CE} = (P_{rp} + P_{ri} + P_{rm} + P_{ro} + P_{rl} + P_{rp}) \cdot C_E \text{ [CZK]} \quad (3.21)$$

$$C_{CE} = (6230 + 890000 + 5340 + 6230 + 200398,333 + 17800) \cdot 3,2$$

$$C_{CE} = \underline{3603194,67} \text{ CZK}$$

C_{CE} – celkové roční náklady na elektrickou energii [CZK],

C_E – cena elektrické energie (výpočtová hodnota 3,2 [54]) [CZK/kW],

P_{ri} – roční příkon indukční pece [kW/rok],

P_{rl} – roční příkon lisu [kW/rok],

P_{rm} – roční příkon manipulátoru [kW/rok],

P_{ro} – roční příkon zařízení na odstranění okují [kW/rok],

P_{rp} – roční příkon pásové pily [kW/rok].

4.4 Přímé variabilní náklady výroby

Vypočítané přímé variabilní náklady výroby na výrobu 12460 kusů košů nárazníků vagonu činí podle vztahu 3.23:

$$PVN_v = C_{CE} + C_M + C_C \text{ [CZK]} \quad (3.23)$$

$$PVN_v = 3603194,67 + 4097262,12 + 173746559,32$$

$$PVN_v = \underline{\underline{181447016,11}} \text{ CZK}$$

C_C – cena za spotřebovaný materiál [CZK],

C_M – celková roční mzda pracovníků pracujících ve výrobě [CZK],

PVN_v – přímé variabilní náklady výroby [CZK].

Přímé variabilní náklady výroby na jeden kus, vztah 3.24:

$$PVN_{vj} = \frac{PVN}{Q_r} \text{ [CZK]} \quad (3.24)$$

$$PVN_{vj} = \frac{181447016,11}{12460} = \underline{\underline{14562,36}} \text{ CZK}$$

PVN_{vj} – přímé variabilní náklady výroby na jednici [CZK],

Q_r – roční předpokládaná výroba [ks].

Přímé variabilní náklady na jeden kus výlisku koše nárazníku vagonu jsou 14562,36 CZK. Vzhledem k tomu, že cena nového kolejového vozidla překračuje 1000000 € [55], pohybují se tyto náklady na úrovni půl promile z jeho ceny. Lze však přepokládat, že v průběhu výroby náklady ještě porostou. Následně bude ještě výlisek podroben třískovému opracování a lakování. Další faktory zvedající cenu výrobku jsou náklady na dopravu, skladování, administrativu (řízení, vývoj, personalistika a podob.) a marketingové náklady. Oblast, která by si zasloužila pozornost, jsou materiálové náklady výroby. Každá ušetřená koruna snižuje náklady o 870916, 62 CZK.

ZÁVĚR

V diplomové práci byla popsána technologie výroby koše nárazníku vagonu kombinovaným objemovým tvářením za tepla. Materiál pro výrobu byl zvolen S235JRG2 (11375), jedná se o materiál běžně používaný k výrobě těchto dílů.

Byla vypracována výkresová dokumentace zadaného dílu (příloha 3), na jejímž základě byl proveden výběr technologie vhodné pro výrobu. V zadání práce bylo uvedeno, že se bude jednat o objemové tvářením za tepla. Jako nejvhodnější způsob výroby byla zvolena kombinace pýchování a zpětného protlačování.

Z geometrických dat výrobku byl vypočítán objem a plochy nutné pro stanovení podmínek při tvářením. Z těchto výpočtů vycházelo i stanovení velikosti polotovaru výlisku, byl zvolen přířez z tyče kruhového průřezu ϕ 180 x 338 mm. Jednotlivé přířezy budou odřezávány z tyče dlouhé 3500 mm, tato varianta vychází jako nejvýhodnější, docílí se při ní využití materiálu na úrovni 93,67% a minimalizuje se také manipulace s tímto materiálem, čímž se snižuje se riziko úrazu. Pro řezání byla vybrána pila od firmy Pilous typ: ARG 250 plus. Dále byla vypočítána hodnota celkového logaritmického přetvoření pro kombinované tvářením – 1,939. Maximální teplota ohřevu byla zvolena 1250 °C. Ohřev bude prováděn v indukční peci, o patřičném výkonu 800kW a dostatečné kapacitě. Byl také vypočítán přetvárný odpor materiálu, který nabývá pro dané podmínky výroby, jako jsou: teplota a způsob tvářením, velikosti 86,457 MPa. Velikost přetvárné síly pro dané operace byla vypočtena na 25,124 MN a přetvárná práce na 1398,945MJ. Pro samotnou tvářecí operaci byl zvolen hydraulický lis vyráběný firmou ŽĐAS a.s., typ CTHN 3000. Pro výrobní nástroj tohoto lisu byla vypracována projektová dokumentace, přílohy 9 a 11. Hmotnost polotovaru byla vypočítána na 67,5kg. Pro manipulace byl vybrán manipulátor od firmy ABB, typ IRB 6650S-90/3.9. Dále bude ve výrobě použito zařízení na odstranění okují od firmy OTECO, typ SMART 2.

Technicko-ekonomické zhodnocení výrobního procesu sestává z výpočtu přímých variabilních nákladů na výrobu. Celkem je spotřebováno 1246 kusů tyčí kruhového průřezu ϕ 180 o hmotnosti 870916,62 kg. Celková cena nakoupeného materiálu je 173895921,52 CZK, po odečtení hodnoty odpadu (149362 CZK) byla cena spotřebovaného materiálu vypočtena na 173746559,32 CZK. Mzdové náklady na zaměstnance, podílejících se na výrobě, byly vypočteny na částku 4097262,12 CZK. Cena spotřebované elektrické energie byla vypočítána ve výši 3603194,67 CZK. Přímé variabilní výrobní náklady budou činit 181447016,11 CZK, rozpočítané na jeden koš nárazníku vagonu pak 14562,36 CZK.

Prostor pro ekonomické zefektivnění výroby by byl v dojednání slevy na vstupní materiál, ostatní položky představují 4% z těchto nákladů.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ... Muzeum středního Pootaví. *Říjen 2015 - Bronzová sekerka*. [on-line].[cit. 2017-01-27] Dostupné z: <http://www.muzeum-st.cz/cs/z-deni/predmet-mesice/2015/rijen-bronzova-sekerka/>
- [2] ... Válečné muzeum sudety. *Halštatské sekery 800-480 před n.l.*. [on-line].[cit. 2017-01-27] Dostupné z: <http://www.jmsieber.cz/muzeum/index.php?id=2732&lastid=96&level=2>
- [3] ... BAČA, Jozef, BÍLIK J., TITTEL V. *Technológia tvárnenia*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80227-3242-0.
- [4] ... Deník.cz. *Nefunkční brzdy či opotřebovaná kola. Inspekce odhalila u vlaků desítky závad*. [on-line].[cit. 2017-01-27] Dostupné z: <http://www.denik.cz/ekonomika/kontroly-odhalily-u-vlaku-nefunkcni-brzdy-ci-opotrebovana-kola-20131011.html>
- [5] ... Vagony.cz. *Spráhování vozidel*. [on-line].[cit. 2017-01-28] Dostupné z: <http://www.vagony.cz/vagony/sprahlo.html>
- [6] ... Nařízení komise (EU) č.321/2013. *Nařízení o technické specifikaci pro interoperabilitu subsystému „kolejová vozidla – nákladní vozy“ železničního systému v EU a o zrušení rozhodnutí Komise 2006/861/ES*. 2013. [on-line].[cit. 2017-01-28] Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:32013R0321>
- [7] ... EN 15551: 2009 + A1:201. *Železniční aplikace–Železniční vozidla–Nárazníky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. EAN: 8590963884394.
- [8] ... DVOŘÁK, Milan, MAREČKOVÁ M. *Vysoké učení technické Brno: TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ* [online]. 2006 [cit. 2015-01-28]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/index.htm
- [9]... ŘEZÁČ, Patrik. *Technologie výroby vika tvářením*. Brno, 2015. 40 s. 6 příloh. CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce doc. Ing. Milan Dvořák, CSc.
- [10] ... LENFELD, Petr. *Technická univerzita Liberec: Katedra strojírenské technologie* [online]. 2015 [cit. 2017-01-30]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/uvod.htm
- [11] ... ČADA, Radek. *Vysoká škola báňská - technická universita Ostrava: Technologie-I* [online]. 2007 [cit. 2017-01-31]. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/TECH1/Technologie-I.pdf>
- [12] ... FOREJT, Milan, PÍŠKA M. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [13] ... DALIBOR, Vojtěch. *Materiály a jejich mezní stavy*. Vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. 2010. ISBN 978-80-7080-741-5
- [14] ... Ústav strojírenské technologie. *Studijní opory. Metalurgie oceli*. [on-line].[cit. 2017-01-31] Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/slevarenstvi/opory/2_11_1.html

- [15] ... PTÁČEK, Luděk, et al. *Nauka o materiálu II.* 2. rozš. vyd. Brno : CERM, s. r. o., 2002, 397 s. ISBN 80-7204-248-3.
- [16] ... HAŠEK, V. *Kování*. Praha: SNTL, Reedice 1997, 732 str. ISBN 04-233-65.
- [17] ... bolzano.cz. *technicka-podpora - technicka-prirucka - tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane*. [on-line].[cit. 2017-01-28] Dostupné z: http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/nelegovane-konstrukcni-oceli-podle-en-10025/prehled-vlastnosti-oceli-s235jrdrive-s235jrg2?searched=S235JRG2&advsearch=oneword&highlight=ajaxSearch_highlight+ajaxSearch_highlight1
- [18] ... HOSFORD, WILLIAM F. and Robert CADDEL. *Metal forming: Mechanics and Metallurgy*. 4th. Ed. New York: Cambridge University Press, 2011. 331s. ISBN 978-1-107-88-00452-8.
- [19] ... sssebrno.cz. *Tlaková zkouška*. [on-line].[cit. 2017-02-10] Dostupné z: http://www.sssebrno.cz/files/ovmt/tlakova_zkouska.pdf
- [20] ... SAMEK, Radko, ŠMEHLÍKOVÁ E.. *Speciální technologie tváření I*. Brno: CERM, s. r. o., 2010. ISBN 978-80-214-4220-7
- [21] ... DVOŘÁK, Milan. 2013. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 169 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 978-80-214-4747-9.
- [22] ... Drastík, F. *Volné ruční kování*. SNTL, Praha 1982, L13-C1-II-31/25826
- [23] ... Strojimport. *Lisy-kovací lisy*. [on-line].[cit. 2017-02-10] Dostupné z: <http://www.strojimport.cz/kovaci-lisy/>
- [24] ... zdas.cz. *Tvářecí linky pro automobilový průmysl*. [on-line].[cit. 2017-02-10] Dostupné z: <http://www.zdas.cz/cs/content.aspx?id=59>
- [25] ... ust.fme.vutbr.cz. *Tváření. Opory. MECHANIZACE A AUTOMATIZACE*. [on-line].[cit. 2017-03-11] Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/mechanizace_a_automatizace_ucebni_texty_rumisek.pdf
- [26] ... SAMEK, Radko, LIDMILA Z., ŠMEHLÍKOVÁ E. *Speciální technologie tváření II*. Brno: CERM, s. r. o., 2011. ISBN 978-80-214-4406-5
- [27] ... FELDMANN, H. D. *Protlačování oceli*. Vladimír Hašek. Praha: SNTL, 1962. 200 s.
- [28] ... BABOR, Karel, CVILINEK A., FIALA J. *Objemové tváření ocelí*. V. Hašek; 1. vyd. Praha: SNTL, 1967. 332 s. Strojírenská literatura; sv. 6006. 04-239-67.
- [29] ... Hlavenka, Bohumil. *Projektování výrobních systémů - Technologické projekty*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005, 290 s. Učební text pro FSI, ISBN 80-214-2871-6.
- [30] ... VUT Brno – FSI. *Strojírenská technologie. Odbor technologie obrábění. Studijní opory. Technologické procesy*. [on-line].[cit. 2017-02-10] Dostupné z: <http://kst2.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TechnProcesy.pdf>

- [31] ... nyprohutni.cz. Nypro – hutní materiál. Sklady Přerov. [on-line].[cit. 2017-03-11] Dostupné z: <http://nyprohutni.cz/prerov>
- [32] ... Pilart s.r.o. Produkty. Profilové nůžky. [on-line].[cit. 2017-03-11] Dostupné z: <http://www.pilart.cz/produkt/profilove-nuzky-KNUTH-HPS-55-S-770/>
- [33] ... ŘASA, J., GABRIEL, V. Strojírenská technologie 3, 1. díl. SCIENTIA Pedagogické nakladatelství, Praha 2002. ISBN 80-7183-337-1
- [34] ... Pilous.cz. Pásové pily na kov. [on-line].[cit. 2017-03-11] Dostupné z: <http://pilous.cz/metal/pasove-pily-na-kov/hydraulicko-gravitacni/arg-380-plus-hf/>
- [35] ... BOUKAL s.r.o. Katalogy zboží. Kovoobráběcí stroje. Pily na kov. [on-line].[cit. 2017-03-11] Dostupné z: <https://shop.boukal.cz/kovoobrabeci-stroje/kotoucova-pila-na-kov-metallkraft-lms-400-h-zdarma-pilovy-kotouc/>
- [36] ... eur-lex.europa.eu. Směrnice Rady 90/269/EHS ze dne 29. května 1990 o minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví pro ruční manipulaci s břemeny spojenou s rizikem, zejména poškození páteře, pro zaměstnance (čtvrtá samostatná směrnice ve smyslu čl. 16 odst. 1 směrnice 89/391/EHS) [on-line].[cit. 2017-03-11] Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/ALL/?uri=CELEX%3A31990L0269>
- [37] ... Portál veřejné správy. Zákony. Nařízení vlády 361/2007 sb. [on-line].[cit. 2017-03-11] Dostupné z: <https://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?idBiblio=65267&nr=361~2F2007&rpp=50#local-content>
- [38] ... zdas.cz. Tvářecí stroje. Zařízení pro volné kování. Kovací manipulátor QKK. [on-line].[cit. 2017-03-11] Dostupné z: <http://www.zdas.cz/cs/content.aspx?id=21>
- [39] ... BVD PECE spol. s.r.o. Produkty. Realizace. Pece. [on-line].[cit. 2017-03-17] Dostupné z: <http://www.bvd.cz/realizace-strojirenstvi>
- [40] ... HRABOVSKÝ, J. Kvantifikace mechanismů hydraulického odstranění okují. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 164 s. Vedoucí dizertační práce prof. Ing. Jaroslav Horský, CSc.
- [41] ... zdas.cz. Tvářecí stroje. Hydraulické lisy. Hydraulický univerzální lis CTH. [on-line].[cit. 2017-03-18] Dostupné z: <http://www.zdas.cz/cs/content.aspx?id=45>
- [42] ... ČSN 227005. Tvářecí nástroje. Protlačování ocelí za studena. Všeobecné požadavky na konstrukci a výpočet. Brno: FORM, 1992.
- [43] ... Deckenbach CZ,s.r.o. MOLYDUVAL® speciální maziva. [on-line].[cit. 2017-03-18] Dostupné z: http://www.fina-oleje.cz/files/produkty/molyduval/spec_maziva_pro_tvareni_kovu.pdf
- [44] ... roboterm.cz Reference. Indukční ohřívače. KSO 800/1,5-A100. [on-line].[cit. 2017-03-18] Dostupné z: <http://www.roboterm.cz/reference/indukcni-ohrivace/kso-nad-630-kw/kompaktni-stredofrekvencni-ohrivac-kso-800/1,5-a100>
- [45] ... abb.com. Produkty. Průmyslové roboty. IRB 6650S technická data. [on-line].[cit. 2017-04-12] Dostupné z: library.e.abb.com/public/0df54281b37ef233c125771300368f27/PR10262EN_R6_HR.pdf

- [46] ... OTECO.cz. Produkty. [on-line].[cit. 2017-04-12] Dostupné z: <http://www.oteco.cz/cs/fotogalerie/smart-2>
- [47] ... zdas.cz. Reference. Fotogalerie. CTHN 3000. [on-line].[cit. 2017-04-12] Dostupné z: http://www.zdas.cz/cs/view_gallery.aspx?id=444
- [48] ... mitutoyo.cz. Produkty. Optické měřicí přístroje. Katalog měřicích přístrojů. [on-line].[cit. 2017-04-12] Dostupné z: http://dl.mitutoyo.eu/HE/eBook/cz_cz/index.html#
- [49] ... ferrum.cz. Prodej hutního materiálu. Ocelové tyče. [on-line].[cit. 2017-04-13] Dostupné z: <http://www.ferrum-mb.cz/ocelove-tyce/tyce-kruhove-valcovane/>
- [50] ... kovosrot-alba.cz. Sběrné suroviny ceník. Ceník železa. [on-line].[cit. 2017-04-13] Dostupné z: <http://www.kovosrot-alba.cz/sberne-suroviny.htm>
- [51] ... eprehledy.cz. Průměrné mzdy podle profese. Měsíční mzda podle podskupin a kategorií zaměstnání CZ-ISCO. [on-line].[cit. 2017-04-13] Dostupné z: http://eprehledy.cz/prumerne_mzdy_podle_profese.php
- [52] ... VYNČUROVÁ, A., LÁCHOVÁ, L. Daňový systém ČR 2016. VOX a.s., Praha, 2016. ISBN 978-8087480-44-1
- [53] ... elektroprumysl.cz. Legislativa. Normy, zákony a vyhlášky. *Směrnice EU 2009/125/ES a norma ČSN EN (IEC) 60034 – 30, Nová definice, nové třídy účinnosti*. [on-line].[cit 2017-04-13] Dostupné z: <http://www.elektroprumysl.cz/legislativa/smernice-eu-2009-125-es-a-norma-csn-en-iec-60034-30-nova-definice-nove-tridy-ucinnosti>
- [54] ... cez.cz. Elektřina. *Ceny elektřiny pro podnikatele a firmy*. [on-line].[cit 2017-04-13] Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2017/web_cez_cz_ele_cenikmop_2017-1-1_comfort-distribuce.pdf
- [55] ... studentagency.cz. O nás. Nový vagon Astra. [on-line].[cit. 2017-04-14] Dostupné z: https://www.studentagency.cz/o-nas/pro-media/archiv/novy_vagon_astra.html

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

HRC	[-]	tvrdost dle Rockwella
OTT	[-]	objemové tváření za tepla
A	[%]	tažnost
B	[-]	zrna materiálu
C_C	[CZK]	cena za spotřebovaný materiál
C_{CE}	[CZK]	celkové roční náklady na elektrickou energii
C_{ds}	[CZK]	cena druhotných surovin
C_E	[CZK/kW]	cena elektrické energie
C_{nm}	[CZK]	cena nakoupeného materiálu
C_{MN}	[CZK]	celkové mzdové náklady
D_{0e}	[mm]	rozměr výrobku
D_{1e}	[mm]	vnitřní průměr zděře
D_{eA}	[mm]	vnější průměr zděře
D_{eB}	[mm]	vnější průměr průtláčnice
D_{rzd}	[mm]	redukovaný průměr základové desky
E	[MPa]	Youngův modul pružnosti
E_p	[hod/rok]	časový fond pracoviště
E_S	[hod/rok]	roční fond strojního pracoviště
F	[N]	síla
F_e	[N]	pěchovací síla
F_i	[N]	síla pro zpětné protlačování
H_M	[CZK]	celková hrubá mzda zaměstnanců
N_{DR}	[den]	počet dní v roce
N_{NE}	[den]	počet nedělí v roce
N_{SO}	[den]	počet sobot v roce
N_{Sv}	[den]	počet svátků v roce
Q_r	[ks]	roční předpokládaná výroba
P_{dp}	[kW]	příkon dopravníků
P_{dp}	[kW]	příkon dopravníků
P_{ip}	[kW]	příkon indukční pece
P_{rl}	[kW/rok]	roční příkon lisu
P_{oz}	[kW]	příkon zařízení na odstranění okují
P_{pp}	[kW]	příkon pásové pily
P_{rd}	[kW/rok]	roční příkon dopravníků
P_l	[kW]	příkon lisu
P_{ro}	[kW/rok]	roční příkon zařízení na odstranění okují
P_{rp}	[kW/rok]	roční příkon pásové pily
P_{ri}	[kW/rok]	roční příkon indukční pece
PVN_v	[CZK]	přímě variabilní náklady výroby
PVN_{vi}	[CZK]	přímě variabilní náklady výroby na jednici
R_e	[MPa]	mez kluzu
R_m	[MPa]	mez pevnosti v tahu
R_{p0,2}	[MPa]	smluvní mez kluzu

S	[mm ²]	plocha zatěžovaného průřezu
S₀	[mm ²]	původní plocha průřezu
S₁	[mm ²]	přetvořená plocha průřezu
S_e	[mm ²]	plocha průtlačnice
S_f	[mm ²]	půdorysná plocha výrobku
S_p	[CZK]	sociální pojištění
S_u	[mm ²]	plocha tlačníku
ΔS	[mm ²]	absolutní změna průřezu
V₀	[mm ³]	původní objem
V₁	[mm ³]	přetvořený objem
V_f	[mm ³]	tvářený objem
V_k	[mm ³]	objem koše nárazníku vagonu
V_{op}	[mm ³]	objem propalu materiálu
V_p	[mm ³]	objem polotovaru
V_u	[mm ³]	objem úkosu
V_{zd}	[mm ³]	objem základové desky
W	[J]	práce
Z	[%]	prodloužení (kontrakce)
Z_P	[CZK]	zdravotní pojištění

a	[mm]	rozměr základové desky v nejširším místě
a₁₁, a₁₂, a₁₃, a₂₁, a₂₂, a₂₃	[mm]	délkové rozměry z ploch 1 a 2
b	[mm]	rozměr základové desky v nejdelším místě
b₀	[mm]	původní šířka
b₁	[mm]	přetvořená šířka
b₁₁, b₁₂, b₁₃, b₂₁, b₂₂, b₂₃	[mm]	délkové rozměry z ploch 1 a 2
c₂₁	[mm]	délkový rozměr z plochy 2 [mm]
d₂₃	[mm]	délkový rozměr z plochy 2 [mm]
d_f	[mm]	průměr na konci tváření
d_{ki}	[mm]	průměr dutiny koše nárazníku vagonu
d_{ko}	[mm]	vnější průměr koše nárazníku vagonu
d_{pe}	[mm]	vnitřní průměr průtlačnice
d_{pu}	[mm]	průměr tlačníku
d_p	[mm]	průměr polotovaru
h₀	[mm]	původní výška
h₁	[mm]	přetvořená výška
h_f	[mm]	výška základové desky
h_k	[mm]	výška koše na konci tváření
h_u	[mm]	výška úkosu
l₀	[mm]	původní délka
l₁	[mm]	přetvořená délka
l_p	[mm]	délka polotovaru
l_{pr}	[mm]	délka prořezu
l_z	[mm]	délka zbytku z tyče

l_t	[mm]	délka tyče
Δl	[mm]	absolutní změna délky
m_C	[kg]	roční předpokládaná spotřeba materiálu
m_{cv}	[kg]	celková hmotnost materiálu na jeden výrobek
m_o	[kg]	hmotnost odpadu
m_p	[kg]	hmotnost polotovaru
m_{pr}	[kg]	hmotnost prořezu
m_{pro}	[kg]	hmotnost propalu
m_z	[kg]	hmotnost ze zbytku tyče na jeden výrobek
n	[-]	exponent deformačního zpevnění
n_p	[ks]	počet přířezů
n_{pA}, n_{pB}, n_{pC}	[ks]	počet přířezů jednotlivých variant
n_{sm}	[hod]	počet hodin na směnu
n_t	[ks]	počet kruhových tyčí rozměru ϕ 180 x 3500 mm
$r_{13}, r_{21}, r_{22}, r_{23}$	[mm]	poloměry z ploch 1 a 2 [mm]
r_{ki}	[mm]	poloměr dutiny koše nárazníku vagonu
r_{ko}	[mm]	vnější poloměr koše nárazníku vagonu
r_{uo}	[mm]	vnější poloměr úkosu
t_0	[min]	doba operace

ε	[-]	poměrné přetvoření
ε_{el}	[-]	poměrné elastické přetvoření
ε_{pl}	[-]	poměrné plastické přetvoření
η_m	[%]	využití materiálu
μ	[-]	součinitel tření
ρ_{oc}	[kgm ⁻³]	hustota oceli
σ	[MPa]	napětí
σ_d	[MPa]	přetvárný pro tváření za dané teploty
σ_n	[MPa]	normálové napětí
σ_p	[MPa]	tvářecí odpor za kovací teploty
σ_{ps}	[MPa]	střední přetvárný odpor
σ_{de}	[MPa]	přetvárný odpor při pēchování za dané teploty
σ_{di}	[MPa]	přetvárný odpor při zpětném protlačování za dané teploty
τ	[MPa]	smykové napětí;
τ_u	[°]	úhel smykového napětí
φ	[-]	logaritmické přetvoření
φ_1	[-]	logaritmické přetvoření délky
φ_2	[-]	logaritmické přetvoření výšky
φ_3	[-]	logaritmické přetvoření šířky
φ_{pe}	[-]	logaritmické přetvoření při pēchování

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Přehled vlastností oceli S235JR.
Příloha 2	MOLYDUVAL speciální maziva.
Příloha 3	Výkres výlisku: Koš nárazníku vagonu.
Příloha 4	Rozdělení základní desky.
Příloha 5	IRB 6650S Industrial Robot.
Příloha 6	E-mailová komunikace - ŽŽAS
Příloha 7	Přehled vlastností oceli X37CrMoV5-1.
Příloha 8	Přehled vlastností oceli 51CrV4.
Příloha 9	Výkres sestavy tlačníku a výrobní výkresy tlačníku.
Příloha 10	Přehled vlastností oceli 54SiCr6.
Příloha 11	Výkres sestavy nástroje.